

Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna



JOÃO PEDRO FERREIRA FERNANDES

Aspirante a Oficial de Polícia

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTEGRADO EM CIÊNCIAS POLICIAIS

XXXI Curso de Formação de Oficiais de Polícia

BALÍSTICA TERMINAL: ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE PROJÉTEIS NA ESTRUTURA DE VIATURAS

Orientador:

EZEQUIEL AGOSTINHO MACIEL RODRIGUES

SUBINTENDENTE

DOUTOR

Lisboa, 7 de maio de 2019



Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna



JOÃO PEDRO FERREIRA FERNANDES

Aspirante a Oficial de Polícia

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTEGRADO EM CIÊNCIAS POLICIAIS

XXXI Curso de Formação de Oficiais de Polícia

BALÍSTICA TERMINAL: ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE PROJÉTEIS NA ESTRUTURA DE VIATURAS

Orientador:

EZEQUIEL AGOSTINHO MACIEL RODRIGUES

SUBINTENDENTE

DOUTOR

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências Policiais (Curso de Formação de Oficiais de Polícia), sob orientação científica do Subintendente Professor Doutor Ezequiel Rodrigues.



Estabelecimento de ensino

Instituto Superior de Ciências Policiais e
Segurança Interna

Curso

XXXI CFOP

Orientador

Subintendente Ezequiel Rodrigues

Título

Balística Terminal: Estudo do
Comportamento de Projéteis na Estrutura
de Viaturas

Autor

João Pedro Ferreira Fernandes

Local de Edição

Lisboa

Data de Edição

Maio de 2019

*À minha avó Alzira,
pelo sacrifício pessoal em prol dos seus.*

AGRADECIMENTOS

A conclusão do presente trabalho representa o culminar de um percurso de 5 anos repletos de desafios, sacrifícios, aprendizagem e crescimento pessoal, algo que apenas foi possível devido aos laços de camaradagem e amizade que mantenho e me sustentam. Posto isto, afigura-se o tempo de relevar a importância que várias pessoas tiveram no meu percurso, enaltecendo a suas ações como forma de agradecimento.

Primeiramente, ao Subintendente/Doutor Ezequiel Agostinho Maciel Rodrigues, pela sua orientação ao longo do desenvolvimento da dissertação, apontando sempre para a direção certa e dissipando as dúvidas.

Ao Exmo. Senhor Diretor Nacional da PSP, Superintendente-Chefe Luís Peça Farinha, por ter autorizado a realização do estudo.

Ao Exmo. Senhor Diretor Nacional Adjunto para a Unidade Orgânica de Recursos Humanos, Superintendente-Chefe Abílio Pinto Vieira, pela colaboração direta, fundamental para a coordenação dos vários colaboradores do estudo.

Ao Exmo. Senhor Diretor Nacional Adjunto para a Unidade Orgânica de Logística e Finanças, Superintendente-Chefe José Matos Torres pela autorização da cedência dos materiais essenciais para o estudo.

Ao Exmo. Senhor Comandante da Unidade Especial de Polícia, Superintendente-Chefe Constantino Ramos, pela total disponibilidade, acolhimento e facilitação para a realização dos testes balísticos.

Ao Exmo. Senhor Diretor do ISCPSI, em Substituição, Superintendente Paulo Sampaio, pela disponibilidade absoluta na cedência de meios logísticos e técnicos indispensáveis para a concretização do estudo.

Ao Exmo. Senhor Diretor do Departamento de Logística, Superintendente Manuel Antunes Dias, pela disponibilização de todos os materiais e coordenação direta na cedência dos mesmos.

A todos os Senhores Oficiais da Unidade Especial de Polícia que direta e indiretamente colaboraram para criar as condições que tornaram possível a concretização dos testes balísticos.

Ao Senhor Chefe Ferraz, do Grupo de Operações Especiais, pela disponibilidade incansável desde a preparação dos testes balísticos até à sua concretização, e pelas sábias indicações técnicas que validaram as experiências realizadas.

Ao Senhor Agente-Principal Azevedo, do Grupo de Operações Especiais, pela disponibilidade total, pelo ânimo em colaborar connosco do início ao fim e pela energia transmitida, o que constituiu um exemplo de camaradagem e entrega absolutas.

Aos Exmos. Senhores Engenheiros Luís Pina e Paulo Gonçalves, do Instituto de Ciências e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), pelas sugestões técnicas preciosíssimas, pela participação ativa nos testes e pelas indicações científicas, fundamentais para a condução do estudo.

Aos Exmos. Senhores Tenente-Coronel Pedro Matias, Major Énio Chambel, Engenheiro Hugo Rebelo e 1º Sargento Andreia Silva, pela disponibilização e montagem das câmaras de alta velocidade utilizadas no nosso estudo, imprescindíveis para o sucesso deste, e em particular ao Senhor Tenente-Coronel Pedro Matias, pela absoluta disponibilidade para nos ensinar a ler os dados recolhidos.

A todos os Senhores Oficiais e Técnicos Superiores do Departamento de Logística, pela intervenção direta e coordenada na disponibilização dos materiais.

Ao camarada Fernando Santos, pela disponibilidade, pelo apoio, pelas sugestões e pela reportagem fotográfica realizada, que tanto contribuiu para o sucesso da presente dissertação.

A todos os Senhores Chefes e Agentes do Departamento de Logística que, anonimamente, disponibilizaram os meios técnicos e logísticos para os testes balísticos.

A todos os Senhores Chefes e Agentes da Unidade Especial de Polícia que, anonimamente, colaboraram na montagem e preparação dos meios técnicos e logísticos na carreira de tiro, e em particular para aquele que, sem sabermos quem era, nos cedeu o aparelho de medição de velocidade.

Ao Senhor Agente-Principal Alves, por toda a ajuda prestada ao longo do meu percurso no ISCPSI, e mais recentemente, pelo seu papel ativo na realização do nosso estudo.

A todos os Senhores Chefes e Agentes da Divisão dos Serviços de Administração do ISCPSI, mormente o Senhor Chefe Paixão, o Senhor Agente-Principal Neto e Senhores Agentes-Principais motoristas, pela colaboração incansável na criação de condições para estarmos presentes nos testes balísticos.

Ao Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna, no conjunto de todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a minha formação.

Agradeço aos meus pais e à minha irmã, que tudo fazem por mim, pelo amor incondicional, pelo apoio, altruísmo, pelo vosso sacrifício diário, e pela forma como me formaram. A vós devo tudo.

Aos meus eternos amigos, Gabriel e João, agradeço-vos a amizade de uma vida, as peripécias e os momentos inesquecíveis. Convosco, sei que nunca estarei só.

À Daniela, por acreditar sempre em mim, pelas palavras de incentivo, pelo amor e pelo apoio desmedido, um sincero obrigado, que não será suficiente para demonstrar a minha gratidão.

Aos meus camaradas do 31º Curso de Formação de Oficiais de Polícia, em especial ao Baseau, a quem devo momentos inesquecíveis e aprendizagens valiosas, e sem os quais não teria sido possível chegar a esta etapa.

RESUMO

Perante o cenário de atuação da PSP, importa estudar, no âmbito da área científica da balística, os danos que os projéteis provocam quando disparados contra viaturas, bem como todos os fenómenos que daí decorrem. Assim, definiu-se como principal objetivo do presente estudo: testar o comportamento de projéteis na estrutura metálica do habitáculo da viatura. Como objetivos específicos: verificar que projéteis penetram ou perfuram a estrutura metálica do habitáculo; estudar as alterações de trajetória dos projéteis; verificar em que casos existe fragmentação dos projéteis; estudar as deformações dos projéteis; perceber quais os efeitos dos projéteis no metal do habitáculo da viatura através do estudo dos orifícios de entrada e de saída; verificar a velocidade e energia cinética restantes dos projéteis depois atravessarem a viatura; estudar as deformações provocadas pelo vidro do para-brisas da viatura nos projéteis da munição 9x19mm FMJ, e as alterações à sua trajetória; comparar os efeitos provocados por projéteis diferentes, disparados com armas diferentes, a diferentes distâncias e ângulos de disparo. Obteve-se os resultados seguintes: os projéteis disparados por carabinas, a um ângulo de 90°, sofrem um decréscimo de velocidade de cerca de 3,29% depois de perfurarem a primeira porta da viatura, e de cerca de 14,55% depois de perfurarem a segunda; os projéteis disparados pela pistola-metralhadora, FN P90, a um ângulo de 90°, sofrem um decréscimo de velocidade de cerca de 8,6% depois de perfurarem a primeira porta de uma viatura, e de cerca de 41% depois de perfurarem a segunda; os projéteis disparados por pistolas semiautomáticas, a um ângulo de 90°, sofrem um decréscimo de velocidade na ordem dos 11,13% depois de perfurarem a primeira porta, e de cerca de 26,93% depois de perfurarem a segunda; existe uma maior tendência para a fragmentação dos projéteis NATO do que dos seus análogos da Kalashnikov, especialmente os de calibre 5,56mm.

Palavras-chave: Balística Terminal; Materiais; Alvos; Projéteis; Viaturas.

ABSTRACT

Given the scenario of action of the PSP, it is important to study, within the scope of the scientific area of ballistics, the damages that the projectiles cause when fired at vehicles, as well as all the phenomena that follow. Thus, it was defined as the main objective of the present study: test the behavior of projectiles in the metallic structure of the passenger compartment of the car. As specific objectives: verify which projectiles penetrate or perforate the metal structure of the passenger compartment; study the changes in the trajectory of the projectiles; verify in which cases there is fragmentation of the projectiles; studying the deformation of the projectiles; understand the effects of projectiles on the metal of the passenger compartment of the car by studying the entry and exit holes; verify the remaining velocity and kinetic energy of the projectiles after passing through the vehicle; study the deformations caused by the windscreen of the vehicle in the projectiles of the 9x19mm FMJ ammunition, and the changes to its trajectory; compare the effects of different projectiles, fired with different weapons, at different distances and firing angles. The following results were obtained: the projectiles shot by rifles at a 90° angle suffer a velocity decrease of about 3.29% after perforating the first door of the vehicle, and about 14.55% after perforating the second; the projectiles fired by the machine gun, FN P90, at an angle of 90°, suffer a velocity decrease of about 8.6% after perforating the first door of a car, and about 41% after perforating the second; the projectiles fired by semi-automatic guns, at an angle of 90°, suffer a decrease in velocity in the order of 11.13% after perforating the first door and of about 26.93% after perforating the second; there is a greater tendency for the fragmentation of NATO projectiles than their Kalashnikov analogs, especially the 5.56mm caliber ones.

Keywords: Terminal Ballistics; Materials; Targets; Projectiles; Vehicles.

LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AP	<i>Armor Piercing</i>
AR	<i>ArmaLite Rifle</i>
CFOP d.C.	Curso de Formação de Oficiais de Polícia Depois de Cristo
Ec	Energia Cinética
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FMJ	<i>Full Metal Jacketed</i>
FN FAL	<i>Fabrique Nationale Fusil Automatique Léger</i>
FN P90	<i>Fabrique Nationale Project 1990</i>
g	Gramas
gr	<i>Grains</i>
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
ISCPSI	Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna
J	Joules
kg	Quilogramas
mm	Milímetros
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
PSP	Polícia de Segurança Pública
RPK	<i>Ruchnoy Pulemyot Kalashnikova</i>
S&W	<i>Smith and Wesson</i>
SJ	<i>Semi-Jacketed</i>

SJHP	<i>Semi-Jacketed Hollow Point</i>
UEP	Unidade Especial de Polícia
V_0	Velocidade dos projéteis à boca do cano
V_{10}	Velocidade dos projéteis a 10 metros
V_{25}	Velocidade dos projéteis a 25 metros

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de Siglas, Acrónimos e Abreviaturas	vi
Índice	viii
Lista de Gráficos.....	xi
Lista de Tabelas	xii
Lista de Figuras	xiv

INTRODUÇÃO	1
-------------------------	----------

I – CONCEITOS FUNDAMENTAIS	3
1. Balística	3
2. Balística Terminal.....	3
3. Munições e Projéteis.....	5
4. Propelente	9
5. Alvos.....	11
6. Mecânicas da penetração de projéteis nos materiais	13
6.1. Modos de falha dos materiais	13
6.2. Penetração em vidro	16
6.3. Penetração em metal.....	18

II – PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO	23
--	-----------

III – OBJETIVOS DE INVESTIGAÇÃO.....	24
---	-----------

IV – HIPÓTESES DE INVESTIGAÇÃO	25
---	-----------

V – MATERIAL E MÉTODO	26
1. Material.....	26
1.1. Armas de Fogo	26
1.2. Munições	26

1.3. Viatura.....	27
1.4. Outros materiais	28
2. Método.....	29
2.1. Procedimentos	29
2.2. Instrumentos	32
VI – RESULTADOS.....	36
1. Velocidades e energia cinética dos projéteis	36
2. Balística dos efeitos: penetração e atravessamento	40
2.1. Efeitos na estrutura metálica da viatura	40
2.1.1. Disparos realizados no pré-teste.....	40
2.1.2. Disparos realizados nos testes balísticos	42
2.2. Efeitos no para-brisas da viatura	44
3. Balística dos efeitos: orifícios de entrada e de saída	45
3.1. Disparos realizados no pré-teste.....	45
3.2. Disparos realizados nos testes balísticos	47
4. Balística dos efeitos: velocidade e rotação dos projéteis após atravessamento das estruturas da viatura – disparos realizados nos testes balísticos.....	51
4.1. Efeitos na estrutura da viatura.....	52
4.2. Efeitos no para-brisas da viatura	55
4.3. Perda de velocidade dos projéteis	56
4.3.1. Perda de velocidade nas portas.....	56
4.3.2. Perda de velocidade no para-brisas	58
4.4. Alteração de trajetórias.....	58
5. Balística dos efeitos: Deformação, perda de massa e fragmentação dos projéteis.....	59
6. Balística dos efeitos: Energia cinética restante.....	62
VII – DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	63
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

ANEXOS.....	72
Anexo I – Velocidades típicas dos projéteis.....	75
Anexo II – Comparação entre os calibres e a proporção de penetração.....	76
Anexo III – Comparação entre o ângulo de incidência do disparo e a penetração dos projéteis	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre os calibres e a proporção de penetração	77
Gráfico 2 - Comparação entre o ângulo de disparo e a proporção de penetração.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Armas utilizadas para efetuar os disparos.	26
Tabela 2 – Munições utilizadas.	27
Tabela 3 – Caraterísticas técnicas da viatura.	28
Tabela 4 – V e Ec dos projéteis da munição 7,62x39mm FMJ.	36
Tabela 5- V e Ec dos projéteis da munição 7,62x39mm AP.	37
Tabela 6 - V e Ec dos projéteis da munição 7,62x51mm FMJ.	37
Tabela 7 - V e Ec dos projéteis da munição 5,56x45mm FMJ.	38
Tabela 8 - V e Ec dos projéteis da munição 5,7x28mm AP.	38
Tabela 9 - V e Ec dos projéteis da munição .38 Special.	38
Tabela 10 - V e Ec dos projéteis da munição .32 S&W.	39
Tabela 11 - V e Ec dos projéteis da munição 9x19mm FMJ.	39
Tabela 12 - V e Ec dos projéteis da munição 7,65x17mm FMJ.	40
Tabela 13 - Ação dos projéteis nas portas do veículo (90°).	41
Tabela 14 -Ação dos projéteis nas portas do veículo (45°).	42
Tabela 15 - Ação dos projéteis nas portas do veículo (90°).	43
Tabela 16 - Ação dos projéteis na porta do veículo (60° e 45°).	44
Tabela 17 - Ação dos projéteis no para-brisas.	44
Tabela 18 - Dimensão e formato dos orifícios.	46

Tabela 19 - Dimensão e formato dos orifícios.	47
Tabela 20 - Dimensão e formato dos orifícios.	47
Tabela 21 - Largura e comprimento médios dos orifícios de saída.	49
Tabela 22 - Dimensão dos orifícios provocados por projéteis 9mm FMJ.	51
Tabela 23 - Velocidades e efeitos rotacionais dos projéteis à saída da primeira porta. .	53
Tabela 24 - Velocidades e efeitos rotacionais dos projéteis à saída da segunda porta. ...	54
Tabela 25 - Velocidades e efeitos rotacionais dos projéteis 9mm FMJ à saída da primeira porta.	55
Tabela 26 - Velocidade dos projéteis 9mm FMJ antes de embaterem no para-brisas da viatura.	55
Tabela 27 - Velocidade e efeitos rotacionais dos projéteis 9mm FMJ depois de penetrarem o para-brisas.	56
Tabela 28 - Percentagem de decréscimo de velocidade dos projéteis (90°).	57
Tabela 29 - Percentagem de decréscimo de velocidade dos projéteis 9mm FMJ num disparo oblíquo.	58
Tabela 30 - Percentagem de decréscimo de velocidade dos projéteis 9mm FMJ, disparados contra o para-brisas da viatura.	58
Tabela 31 – Massa dos projéteis recolhidos.	60
Tabela 32 - Energia cinética restante dos projéteis recuperados.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil de vários projéteis: a. <i>Solid</i> ; b. <i>Full metal-jacketed</i> ; c. <i>Semi-jacketed</i> ; d. <i>Semi-jacketed hollow point</i> ; e. <i>Hard-core</i> ; f. <i>Tracer</i> ;	7
Figura 2 - Projéteis de chumbo: a. <i>Round nose</i> . b. <i>Semi-wadcutter</i> . c. <i>Hollow-point</i> . d. <i>Wadcutter</i>	7
Figura 3 - Principais modos de falha por perfuração.....	15
Figura 4 - Modos de falha dos alvos.....	16
Figura 5 - Munições utilizadas.	27
Figura 6 – Vista da parte lateral da viatura para onde foram realizados os disparos.	28
Figura 7 - Sacos de areia utilizados para a recolha dos projéteis disparados.	30
Figura 8 - Posição do atirador com o aparelho de medição <i>Labradar</i>	30
Figura 9 - <i>Fastcam Mini AX100</i> (1).....	33
Figura 10 - <i>Fastcam Mini AX100</i> (2).....	33
Figura 11 -Paquímetro de metal empregue para a medição dos orifícios.	34
Figura 12 - <i>Labradar</i> , medidor de velocidades.	34
Figura 13 - Balança de precisão.	35
Figura 14 - Orifícios de saída provocados por projéteis da munição 5,56x45mm FMJ.	43
Figura 15 - Orifícios de saída provocados por projéteis disparados a 45°.....	46
Figura 16 - Orifícios de entrada provocados por projéteis da munição 7,62x39mm AP.	49

Figura 17 - Orifícios de saída provocados por projéteis das munições 7,62x39mm FMJ e 7,62x39mm AP.....	50
Figura 18 - Orifício de saída provocado por projétil da munição 7,62x51mm FMJ.....	50
Figura 19 - Orifício de saída provocado por projétil da munição 7,62x51mm FMJ.....	50
Figura 20 - Cambalhota do projétil da munição 7,62x39mm FMJ.	52
Figura 21 - Rotação do projétil da munição 5,7x28mm AP à saída da segunda porta...	59
Figura 22 - Projéteis recuperados, comparados com exemplares no seu estado original.	60
Figura 23 - Fragmentação de projétil da munição 7,62x51mm FMJ à saída da segunda porta.	62
Figura 24 - Fragmentação de projétil da munição 5,56x45mm FMJ à saída da segunda porta.	62

INTRODUÇÃO

A balística é uma área de saber fundamental para o serviço policial pelo facto de a polícia, por um lado, ter necessidade de realizar disparos com armas de fogo, por outro lado, por ser, por vezes, atacada por disparos de armas de fogo. Os disparos contra viaturas encerram particularidades ainda pouco estudadas em Portugal, nomeadamente na Polícia de Segurança Pública (PSP). O estudo científico mais relevante, neste âmbito, foi o realizado por Rodrigues, Faria, Santos, e Fraga (2016). Desconhece-se que, em Portugal, até ao momento, tenha sido publicado qualquer estudo sobre a balística dos efeitos dos projéteis disparados contra a estrutura de viaturas e dos efeitos desta na estrutura dos projéteis, sendo esta a lacuna de conhecimento que o presente estudo pretende preencher. Ademais, porque o Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna (ISCPSI) ministra as unidades curriculares de Armamento, Explosivos e Munições I e II, e de Criminalística, em que a balística dos efeitos ocupa um lugar de destaque.

Face à constatação referida sobre a lacuna de conhecimento científico, mormente experimental, realizou-se o presente estudo, direcionando-o para armas e munições passíveis de serem utilizadas pela polícia, mas também pelos seus adversários contra esta. Relativamente aos disparos policiais, direccionou-se o estudo para o poder de absorção dos projéteis na estrutura de viaturas e a sua energia cinética restante, para avaliar o potencial dos projéteis em atingir não só as viaturas mas também terceiros que se encontrem na via pública, podendo assim, inferir-se também o potencial dos projéteis disparados contra viaturas policiais, com tudo o que isso representa em termos de perigo para os próprios polícias.

No que concerne à estrutura, a presente dissertação apresenta, primeiramente, conceitos fundamentais, nomeadamente a balística terminal e, ainda, as mecânicas da penetração dos projéteis em diferentes materiais e, por sua vez, nos modos como estes cedem e se deformam mutuamente.

Seguidamente, expõe-se o problema de investigação, os objetivos e as hipóteses de investigação, bem como o material utilizado e o método seguido.

Depois, apresentam-se os resultados obtidos e a sua discussão, terminando com as conclusões gerais e específicas do estudo, assim como as limitações encontradas e as sugestões para a realização de estudos futuros.

I. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

1. BALÍSTICA

A balística é uma área científica que estuda “todos os processos relacionados com o movimento de um projétil” (Coupland, Rothschild & Thali, 2011, p. 65). Ela divide-se em quatro ramos: a balística interna, a balística de transição, a balística externa e, por fim, a balística terminal. A balística interna compreende o “processo de ignição do propelente, a queima do propelente na câmara, a pressurização da câmara, o primeiro movimento do projétil, (...) e obturação da câmara, as dinâmicas internas do projétil, e as dinâmicas do cano durante o ciclo de fogo” (Carlucci & Jacobson, 2008, p. 4). Ou seja, diz respeito aos fenômenos que ocorrem no interior de uma arma de fogo, desde o momento em que o percutor atinge a cápsula fulminante até ao momento em que a bala sai à boca do cano da arma, isto é, quando passa a projétil (Heard, 2008). Por outro lado, a balística de transição engloba o período em que o projétil inicia o seu movimento fora da arma, mas ainda é influenciado pelos gases que saem à boca do cano (Carlucci & Jacobson 2008). A balística externa, por sua vez, engloba o período em que o projétil deixa de estar sob a influência dos gases à boca do cano e se movimenta no ar até ao momento imediatamente anterior ao impacto com o alvo (Carlucci & Jacobson, 2008). Este ramo da balística estuda a velocidade do projétil, a taxa de rotação, as propriedades físicas (distribuição da massa e do peso), as dinâmicas e a estabilidade do projétil, a trajetória esperada do projétil, o tempo de voo do projétil e o ângulo (Carlucci & Jacobson, 2008).

2. BALÍSTICA TERMINAL

A balística terminal é o ramo da balística que estuda a interação entre o projétil e o alvo, consistindo, por isso, no estudo do projétil (que viaja a uma determinada velocidade e produz um orifício através do qual passa) e da falha do material contra o qual embate (extremamente localizada, que se produz na zona adjacente ao orifício) (Backman, 1976). Carlucci e Jacobson (2008) afirmam que a balística terminal cobre

todos os aspetos dos eventos que ocorrem quando um projétil atinge o seu alvo, o que engloba as mecânicas da penetração, os efeitos de armadura, os padrões de fragmentos pulverizados e a letalidade associada, a sobrepressão da explosão, os efeitos não letais e os efeitos nos tecidos vivos. Coupland et al. (2011, p. 65) definem a balística terminal como sendo o estudo “da penetração do alvo por um projétil, sendo o alvo, geralmente, constituído por um material substancialmente mais denso do que o ar”. Por sua vez, Rosenberg e Dekel (2012) afirmam que a balística terminal é a nomenclatura utilizada para referir um grande número de fenómenos que ocorrem aquando do impacto dos projéteis nos alvos a alta velocidade.

Do ponto de vista físico, o impacto de um projétil contra um objeto sólido ou líquido é um processo extremamente complexo, que ocorre num espaço de tempo muito curto e envolve grandes forças e pressões (Coupland et al., 2011). Tendo isto em consideração, importa discorrer brevemente sobre algumas terminologias e conceitos basilares que possibilitarão um melhor entendimento sobre a balística terminal e os fenómenos sobre os quais esta incide o seu estudo. Um destes conceitos é o de efeitos terminais. Nas palavras de Carlucci e Jacobson (2008), os efeitos terminais, provocados pelos projéteis quando estes atingem o alvo, constituem as ferramentas da balística terminal, sendo que estes dependem do formato e do desígnio do projétil. Entre os vários desígnios que um projétil pode ter, destacam-se: a fragmentação do corpo do projétil, através da sua carga explosiva; a penetração ou perfuração do alvo, através da aplicação de energia cinética ou química; e a explosão na área do alvo, através da energia química da carga explosiva do projétil (Carlucci & Jacobson, 2008).

No âmbito desta dissertação, importa evidenciar a penetração/perfuração. A penetração ocorre quando um projétil cria uma descontinuidade na superfície original do alvo (Carlucci & Jacobson, 2008). A perfuração, por sua vez, implica que, após a remoção do projétil e dos detritos, possa ser vista luz através do alvo (Carlucci & Jacobson, 2008). Sobre a penetração, Rinker (2001) afirma que esta depende muito da massa do projétil, uma vez que este desempenha um papel importante no seu ímpeto. Por outras palavras, “em projéteis com a mesma velocidade, o projétil mais pesado irá penetrar em maior profundidade, se todos os outros fatores forem iguais” (Rinker, 2001, p. 338). Além disso, segundo afirmam Coupland et. al (2011), a profundidade de penetração não depende do calibre do projétil, mas da sua densidade transversal. Outro conceito de grande importância no contexto do presente estudo é o de velocidade limite, ou limite balístico.

Carlucci e Jacobson (2008) explicam que este representa a velocidade mínima necessária para que um projétil derrote o seu alvo; ou seja, um projétil que viaje a uma velocidade inferior à velocidade limite, ainda que ligeiramente, não será capaz de derrotar o seu alvo. Os mesmos autores acrescentam, ainda, que existem diversos fatores influenciadores da velocidade limite, entre os quais se destacam: a dureza do material, a densidade do projétil, o formato da ponta do projétil e o rácio largura-diâmetro do projétil.

3. MUNIÇÕES E PROJÉTEIS

Em termos de nomenclatura a utilizar, serão empregues os seguintes termos: “munição” para se referir ao conjunto do projétil, o invólucro, o propelente e sistema de percussão; “propelente” para se referir ao(s) químico(s) que, quando inflamado(s), produz(em) uma grande quantidade de gases, que irão originar a propulsão do projétil; “invólucro” para se referir ao estojo ou caixa do cartucho, incluindo o sistema de percussão; e, por último, “projétil” para se referir ao objeto de metal que irá ser propelido e sairá pela boca do cano da arma.

As munições, ou cartuchos, de armas de fogo são constituídas por quatro partes fundamentais: a bala (ou projétil), o invólucro, a escorva e a carga (Coupland et al., 2011; Di Maio, 1999; Heard, 2008; Santos, 2011). Existem dois sistemas métricos essenciais para identificar uma munição: o sistema europeu, que utiliza unidades métricas (mm); e o sistema anglo-saxónico, que utiliza as polegadas. No âmbito deste estudo, importa evidenciar a carga propulsora e a bala (projétil), por serem as duas componentes das munições que mais influenciam os resultados da balística dos efeitos.

A carga propulsora, ao ser deflagrada, gera pressões elevadas dentro da câmara de explosão da arma, o que vai provocar a aceleração da bala e a sua saída à boca do cano da arma, imbuída de uma determinada velocidade (Coupland et al., 2011).

O comportamento dos projéteis, traduzido pela velocidade, pelo alcance, tensão da trajetória e pela precisão de tiro, dependem não só das características da arma, mas também da munição utilizada (Santos, 2011). O efeitos dos projéteis nos materiais, e destes nos projéteis, depende também das características próprias dos projéteis, mormente a forma e a massa (Santos, 2011). Coupland et al. (2011) explanam que o objetivo do

projétil é transportar para o alvo a energia cinética necessária para atingir um determinado efeito. Afirmam ainda que um projétil deve “sobreviver” às forças a que está sujeito no cano da arma à medida que adquire a sua energia, e deve perder o mínimo de energia possível entre a saída do cano da arma e o alvo. Os mesmos autores dividem os projéteis nas seguintes categorias:

- *Solid bullets* (projéteis sólidos) - projéteis constituídos apenas por um material (e.g. chumbo, cobre, outros);
- *Jacketed bullets* (projéteis encamisados) - projéteis com um núcleo, geralmente de chumbo, coberto por uma camada fina de outro material, a camisa. Os materiais que constituem esta camisa incluem ligas de cobre e aço. Se a camisa envolve o núcleo por completo, o projétil designa-se *full-metal jacket* (FMJ). Se a camisa deixar parte da ponta descoberta, o projétil é *semi-jacketed* (SJ). Se, além disso, a ponta do projétil for oca, designa-se de *semi-jacketed hollow point* (SJHP);
- *Hard-core bullets* (projéteis de núcleo endurecido) – projéteis com um núcleo de um material muito duro (como aço endurecido ou tungsténio), utilizados para penetrar materiais duros ou muito duros;
- *Tracer Bullets* (projéteis tracejantes) - projéteis com uma carga pirotécnica que arde durante o voo, tornando a trajetória do projétil visível. (Figura 1)

Em termos de penetração, os autores dividem os projéteis em três categorias:

- *Shape stable bullets* - projéteis que mantêm a sua forma no alvo, perdendo pouca massa;
- *Deforming bullets* - projéteis que se deformam quando atingem o alvo, perdendo uma pequena percentagem da sua massa;
- *Fragmenting Bullets* - projéteis que se fragmentam à medida que atravessam o alvo.

Coupland et al. (2011) ressaltam que nem sempre um projétil se enquadra perfeitamente numa destas categorias, uma vez que o seu comportamento depende não apenas do seu formato, mas também da velocidade de impacto e do alvo em si. Por exemplo, um projétil pode fragmentar-se a altas velocidades, deformar-se a velocidades médias e manter a sua forma a baixas velocidades. Relativamente à velocidade, e visto que se trata de uma variável extremamente importante, especialmente no estudo das

mecânicas da penetração, convém referir que, de acordo com Rosenberg e Dekel (2016), fala-se de velocidades baixas quando o projétil voa a uma velocidade inferior a 500 metros por segundo (m/s); velocidades médias entre os 500 e os 2000 m/s; e velocidades altas acima de 2000 m/s.

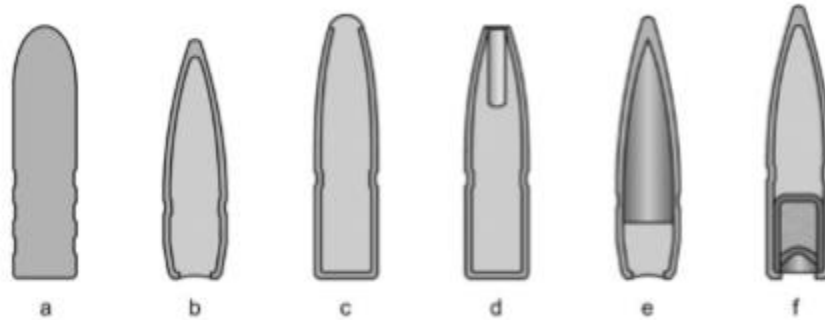


Figura 1 - Perfil de vários projéteis: a. *Solid*; b. *Full metal-jacketed*; c. *Semi-jacketed*; d. *Semi-jacketed hollow point*; e. *Hard-core*; f. *Tracer*;

Fonte: Coupland et al. (2011, p. 35)

Heard (2008) admite a existência de uma enorme variedade de perfis e materiais, sendo uma tarefa hercúlea mencioná-los a todos na presente dissertação, pelo que se pretende apenas mencionar aqueles que se considera serem mais vulgares. Não obstante, Di Maio (1999) sustenta que os projéteis modernos pertencem a uma de duas categorias: projéteis de chumbo ou projéteis revestidos de metal. Os projéteis de chumbo são revestidos por um composto lubrificante e têm, geralmente, uma ou mais caneluras. Alguns projéteis de chumbo são cobertos por uma camada finíssima de cobre, que o endurece e lubrifica. Existem quatro configurações de projéteis de chumbo: *round nose* (ponta redonda), *semi-wadcutter*, *hollow-point* (ponta oca) e *wadcutter* (cortante) (figura 2).

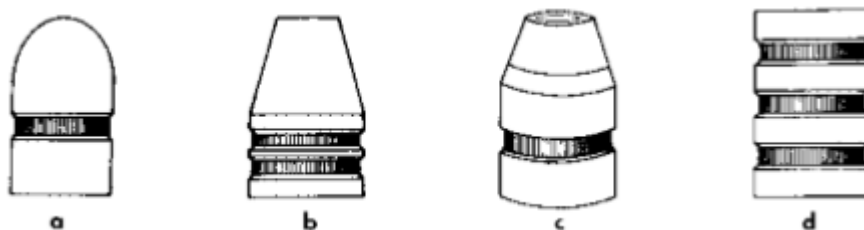


Figura 2 - Projéteis de chumbo: a. *Round nose*. b. *Semi-wadcutter*. c. *Hollow-point*. d. *Wadcutter*.

Fonte: DiMaio (1999, p. 26)

Os projéteis revestidos de metal possuem um núcleo de chumbo ou aço e são revestidos por cobre e zinco, cobre e níquel, ou alumínio. Esta cobertura pode ser total ou parcial (Di Maio, 1999).

Heard (2008), no que concerne aos projéteis de armas ligeiras, afirma que estes são *jacketed* (com camisa) ou *unjacketed* (sem camisa). Os projéteis sem camisa podem ser constituídos por diversos materiais, sendo o chumbo o mais comum. O chumbo pode ser ligado com quantidades variáveis de antimónio por forma a torná-lo mais duro. Os projéteis com camisa possuem um núcleo de chumbo puro revestido por uma fina camada de um material bastante mais duro. Este pode ser uma liga de cobre e zinco, uma liga de cobre e níquel, ou apenas aço. Uma variante deste tipo de projéteis consiste no seu revestimento com uma camada grossa de nylon preto; este projétil, denominado de *Nyclad*, permite uma menor contaminação nas carreiras de tiro e reduz a fricção na alma do cano (Heard, 2008).

Santos (2011) sumariza as características mais importantes do metal de um projétil: denso (para adquirir mais energia), infusível (para não se fundir com a alma do cano da arma) e pouco deformável (para ter maior poder vulnerante). Referindo-se ao material que constitui os projéteis, o autor menciona o chumbo puro como o metal primitivamente utilizado. Contudo, quando as velocidades iniciais dos projéteis ultrapassaram os 400m/s, este metal foi posto de parte por se fundir à superfície; por este motivo passou a usar-se chumbo ligado com outro metal mais duro, como o zinco, cobre, estanho, bismuto e arsénio. Quando utilizado em armas estriadas, os projéteis de chumbo, além de se fundirem, também chumbavam os canos, ou seja, enchiam as estrias do cano de chumbo, levando à necessidade de fabricar projéteis mais densos e homogêneos. Porém, este problema só foi resolvido com a adoção de uma camisa metálica que cobria o projétil. Assim, o seu núcleo seria composto por chumbo, bronze ou aço, sendo depois introduzido por compressão na camisa. A camisa deve ser resistente, de modo a não sofrer rasgões, suficientemente espessa, para evitar a fusão do núcleo, e pouco dura, para prevenir danos nas estrias do cano da arma. Os metais mais comumente utilizados nas camisas são o cobre, o aço e uma liga de cobre e níquel (Santos, 2011).

Em relação à forma, as vantagens dos projéteis bi-ogivais (parte anterior em ogiva, a posterior de forma tronco-cônica ou ogival e a parte média cilíndrica) perante os restantes formatos, reside no facto de permitirem uma melhor conservação da velocidade inicial, uma diminuição da resistência e um maior poder derrubante (Santos, 2011).

Quanto à massa, recomenda-se um projétil leve para pequenas distâncias - sendo animado de grande velocidade inicial, mas sofrendo um grande retardamento - e um projétil mais pesado, para grandes distâncias. Um projétil com uma massa variável entre 9 e 13 gramas permite trajetórias aceitáveis a todas as distâncias. Quanto ao calibre, deverá ser de 0,20 a 0,30 mm superior ao diâmetro da alma do cano medido no fundo das estrias, por forma a que ocorra um forçamento inicial do projétil na alma do cano da arma (Santos, 2011)

Além das munições de armas ligeiras convencionais já abordadas, Santos (2011) dá a conhecer algumas das chamadas munições especiais. De acordo com a sua classificação, o autor engloba várias munições na categoria de cartuchos especiais de guerra. Contudo, aquele que apresenta maior interesse para o presente estudo é o cartucho com projétil perfurante, desenvolvido para permitir a perfuração de blindagens. Nestes projéteis, tenta-se dar a máxima massa e velocidade ao seu núcleo de aço, de forma a aumentar o seu poder de penetração. O poder de penetração também depende da forma do seu núcleo, sendo que um projétil aguçado penetra melhor numa incidência normal, e uma ponta achatada penetra melhor numa incidência oblíqua (Santos, 2011).

4. PROPELENTE

A pólvora preta é o tipo de carga mais antiga a ser utilizada nas armas de fogo, sendo que, até ao final do século XIX, as munições foram carregadas com este propelente (Di Maio, 1999). Di Maio (1999) esclarece que esta pólvora consiste numa mistura de carvão, enxofre e nitrato de potássio: o carvão atua como combustível; o nitrato de potássio como fornecedor de oxigénio e oxidante; o enxofre fornece maior densidade à mistura, tornando-a mais facilmente inflamável.

Heard (2008) fornece-nos uma breve alusão histórica à pólvora preta, afirmando que apesar de não existirem certezas no que diz respeito à sua autoria, esta é frequentemente associada aos chineses, que disparavam engenhos explosivos e

incendiários por volta do ano 1000 d.C. A primeira referência à pólvora preta na europa foi feita por Roger Bacon, que, apesar de conhecer as suas propriedades explosivas, muito provavelmente desconhecia um modo de utilizá-la como um propelente (Heard, 2008).

Santos (2011) reitera que quando surgiu a necessidade de diminuir o calibre e de aumentar a velocidade inicial dos projéteis, verificou-se que a pólvora preta produzia demasiada pressão e muito recuo da arma. Desta forma, foi muito importante a criação de um explosivo, cuja base era o algodão pólvora (nitrocelulose), pelo engenheiro químico francês Vieille, em 1884. Este era uma substância compacta e sem poros, que ardia de uma forma mais estável e que não originava fumos, ficando assim conhecida como pólvora sem fumo. Esta pólvora permite velocidades constantes e pressões regulares. De acordo com Heard (2008), Alfred Nobel, em 1887, desenvolveu outro tipo de propelente, em que a nitrocelulose era dissolvida em nitroglicerina.

Segundo Coupland et al. (2011), o propelente é a fonte de energia de uma arma, permitindo acelerar a bala através da aplicação da pressão produzida pelos gases na sua base. As substâncias utilizadas devem ser altamente inflamáveis e libertar uma grande quantidade de gases durante a combustão. De forma a gerar grandes pressões, a combustão deve ocorrer num espaço confinado, que por ser pequeno não contém oxigénio suficiente para permitir a combustão. Por este motivo, os propelentes devem ser capazes de fornecer o oxigénio suficiente para a sua própria combustão. Os autores alegam que, quando a pólvora preta arde, esta produz dióxido de carbono, nitrogénio e sulfeto de potássio. Este último produz um fumo visível e deixa depósitos no cano da arma. A sua massa corresponde a 40% da massa da pólvora que o produziu, o que explica a baixa eficiência da pólvora negra. As pólvoras sem fumo, que substituíram quase por completo o uso de pólvora negra nas armas de fogo, são baseadas numa invenção do século XIX, a nitrocelulose. Esta substância é transformada numa massa que é depois cortada em “grãos de pólvora” do formato necessário. As pólvoras de nitrocelulose são conhecidas por pólvoras de base singular, uma vez que apenas contêm uma substância que fornece energia. Contudo, a nitrocelulose também pode ser dissolvida em nitroglicerina. Estas pólvoras são conhecidas por pólvoras de base dupla, uma vez que contêm duas substâncias fornecedoras de energia (Coupland et al., 2011).

No processo de combustão, as pólvoras sem fumo são quase exclusivamente transformadas em gases: dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de água, hidrogénio e nitrogénio. Estas produzem quase três vezes mais gás que a mesma massa

de pólvora negra, tornando possível a obtenção de pressões mais altas e, consequentemente, maiores forças de aceleração, com menos pólvora (Coupland et al., 2011).

Coupland et al. (2011) especificam ainda os parâmetros que podem ser utilizados para descrever um tipo de pólvora:

- Calor da explosão: a quantidade de calor libertado pela rápida combustão de 1 quilograma de pólvora;
- Volume de gás específico: a quantidade de gás produzido pela combustão de 1 quilograma de pólvora;
- Temperatura da explosão: a temperatura a que uma pólvora arde num espaço de volume específico;
- Temperatura de autoignição: a temperatura a que uma pólvora irá inflamar de forma espontânea.

Santos (2011) afirma que as pólvoras modernas se inserem em dois grupos: pólvoras nitroglicéricas (contêm nitrocelulose e nitroglicerina) e as pólvoras nitrocelulósicas (não contêm nitroglicerina). A estas pólvoras podem ser adicionados outros ingredientes, permitindo aumentar a estabilidade, diminuir a velocidade de combustão, tornar a pólvora menos higroscópica, entre outros. O autor acrescenta que as pólvoras nitroglicéricas têm maior energia potencial que as nitrocelulósicas.

5. ALVOS

Os potenciais alvos ou barreiras contra os quais os projéteis podem colidir são constituídos por variadíssimos materiais, pelo que se considera importante mencionar alguns deles na tentativa de os classificar mediante alguns critérios. Além disso, “uma parte integral das mecânicas da penetração é a delineação das características do material que constitui os elementos alvo” (Backman & Goldsmith, 1978, p. 32).

Backman (1976) aborda esta questão numa perspetiva militar, referindo-se à balística terminal de um projétil como uma ou várias interações com barreiras, servindo estas para evitar o acesso do projétil a componentes mais vulneráveis (alvo). Neste

âmbito, o autor afirma que uma barreira é bem-sucedida quando desacelera o projétil, causa a fragmentação do projétil e desacelera os seus fragmentos ou quando deforma o projétil e o desacelera na sua forma menos eficiente. O autor afirma que os metais apresentam a maior resistência à penetração, mas possuem frequentemente pouca espessura. Os metais possuem uma propriedade muito diferente de materiais como pedra ou betão - a ductilidade ou maleabilidade - ou seja, a capacidade de se deformar antes de fraturar.

Backman (1976) e Goldsmith (1978) distinguem os materiais constituintes de um potencial alvo entre aqueles que são naturais (solo, pedra, madeira e água) e os que são fabricados (metais, plásticos, cerâmicas e outros componentes como a borracha). Alertam ainda para a necessidade de os distinguir através do critério do peso. Assim sendo, classificam materiais como madeira, plástico, cerâmica, solo, algumas pedras e metais de baixa densidade como sendo leves. Nos materiais de peso intermédio, incluem componentes metálicos como o aço, cobre, latão e estanho. Por fim, classificam o chumbo, tungsténio e urânio como sendo materiais pesados.

No que concerne à resistência de um alvo, esta pode ser “operacionalmente descrita em termos de penetrabilidade de um tipo de projétil disparado em condições de impacto idênticas” (Backman & Goldsmith, 1978, p. 32). Assim, através da penetrabilidade comparativa destes materiais, obteve-se uma classificação: os solos são pouco resistentes; o betão, alvenaria e ligas de metal de baixa resistência são moderadamente resistentes; os metais altamente resistentes e cerâmicas são muito resistentes.

Backman e Goldsmith (1978) e Carlucci e Jacobson (2008) consideram que os alvos semi-infinitos são aqueles em que não existe influência dos seus limites distais no processo de penetração. Acrescentam uma classificação dos alvos situada entre os semi-infinitos e os intermédios, os grossos. Para estes autores, os alvos grossos são aqueles em que os seus limites (ou superfícies) influenciam o processo de penetração, depois do projétil atravessar uma parte do alvo. No que concerne aos alvos de grossura intermédia, os seus limites exercem influência no decorrer do impacto do projétil. Por fim, os autores consideram que são alvos finos aqueles em que os gradientes de stress e deformação se revelam insignificantes em toda a sua grossura.

Na ótica de Rosenberg e Dekel (2016), nos estudos de balística terminal, os alvos são classificados de acordo com a sua grossura, podendo estes ser semi-infinitos,

intermédios ou finos. Os autores consideram que um alvo semi-infinito é grande o suficiente para que as suas superfícies laterais e traseira não influenciem o processo de penetração. Em relação aos alvos intermédios, os autores afirmam que a sua grossura é suficiente para imobilizar o projétil, mas não para evitar que ocorram danos na sua superfície traseira. Os alvos finos são completamente perfurados pelo projétil, e a sua relevância para a balística terminal consiste no apuramento dos danos que estes conseguem provocar nos projéteis.

6. MECÂNICAS DA PENETRAÇÃO DE PROJÉTEIS NOS MATERIAIS

6.1. Modos de falha dos materiais

Os materiais, ao serem atingidos por um projétil, comportam-se de uma forma completamente diferente uns dos outros e assumem propriedades mecânicas muito díspares (Carlucci & Jacobson, 2008). Neste sentido, importa compreender de que forma os projéteis se comportam ao atingir diferentes tipos de materiais, assim como todos os fenómenos que ocorrem nos próprios materiais. Aliás, “quando um projétil atinge um alvo, tanto o projétil como o alvo podem deformar-se elasticamente, plasticamente, quebrar, queimar ou até mesmo explodir, dependendo da velocidade de impacto, formatos do projétil e do alvo, grossura do alvo e, ainda, das propriedades mecânicas do projétil e do alvo” (Calder, 1971, p. 863).

Coupland et al. (2011) afirmam que, de um ponto de vista físico, o impacto entre um projétil e um objeto sólido ou líquido é um processo bastante complexo. Ocorre durante um período de tempo muito curto e envolve grandes forças e pressões. A deformação do projétil e do alvo irão inevitavelmente ocorrer, pelo que as características dinâmicas dos materiais vão desempenhar um papel importante. Os autores sublinham a existência de alguns modelos de penetração, dando especial relevo a dois que consideram ser úteis para a compreensão deste processo, quando associado a projéteis de armas ligeiras. O primeiro modelo apresentado pelos autores é o *plugging*, que é útil nos casos em que o projétil, ao embater em finas camadas de um material, o atravessa, provocando pouca deformação. Nestes casos, é assumido que o projétil remove um *plug* de uma camada do material atingido. O outro modelo é o *displacement model (ductile failure)*: se o alvo é capaz de se deformar, é razoável assumir que o projétil irá deslocar material à medida que o atravessa, sendo o volume de material deslocado proporcional à energia

utilizada. Este modelo é válido para a maior parte dos materiais capazes de se deformarem. Os autores defendem que, quando um projétil atravessa um material duro, especialmente na forma de uma camada fina, a camada absorve menos energia quando o projétil a atravessa do que quando este fica nela. Por outras palavras, o alvo irá consumir menos energia quando este é perfurado pelo projétil do que quando o projétil é travado (Zaid et. al, 1973).

Backman (1976, p. 72) esclarece que existem diferenças significativas nas propriedades físicas dos diferentes materiais que “governam as forças que resistem à penetração e os processos de falha que causam a perfuração”. O autor afirma que três tipos de resposta dada por um material à aplicação de cargas é o suficiente para descrever, de uma forma geral, o comportamento mecânico de vários sólidos. Estas respostas são do tipo elástico, quebradiço ou dúctil. Um determinado material é elástico se, quando submetido a uma força externa, a sua deformação for proporcional a essa força e for removida pela remoção da força. Se as estruturas forem sujeitas a forças que vão além de uma determinada quantidade crítica, dá-se uma mudança na forma como o material da estrutura responde. Se for de betão, por exemplo, irá rachar e desintegrar-se. Se for de aço, irá dobrar ou ceder, mas mantém-se intacto. Se um material como o cimento passar de um comportamento elástico para um de fratura ou rutura, trata-se de uma resposta do tipo quebradiço. Um material dúctil, no limite, falha da mesma forma que um material quebradiço, mas apenas depois de sofrer um determinado grau de deformação plástica. Estes dois tipos de falha dos materiais são úteis para permitir separar as barreiras, ou alvos, em dois grupos: cimento, alvenaria e pedra, são exemplos de materiais quebradiços; os metais são exemplos de materiais dúcteis (Backman, 1976).

Segundo Backman (1976), é assumido que um projétil mantém a sua forma durante o impacto balístico, sendo que o material contra o qual este embate deve ser empurrado para o lado ou para a frente, através de uma combinação de falhas elásticas, plásticas ou quebradiças, de forma a acomodar a barreira ao contorno imposto pelo projétil. Neste processo, o material da barreira exerce a sua força de resistência no projétil, alterando o seu movimento. Devido a isto, é possível retirar algumas ilações sobre o papel dos processos de falha quebradiços e dúcteis no processo de penetração, através da análise dos orifícios de penetração. O orifício que é feito numa barreira dúctil tem praticamente o mesmo diâmetro que o projétil. As deformações plásticas são responsáveis pela formação de um “lábio” no lado da entrada e deformações nos lados e na frente do projétil.

O orifício que é feito em barreiras quebradiças pelo impacto balístico pode variar entre o tamanho do projétil impactante e o tamanho de vários projéteis em largura. Em alguns casos, a zona que é impactada pelo projétil mantém a sua integridade e o orifício tem praticamente o formato do projétil; noutros casos, a zona impactada perde o seu material. Em ambas as barreiras, o impacto de um projétil produz tensões na barreira que são responsáveis pela resistência à penetração na superfície do projétil. A zona de falha é a zona onde estas tensões são maiores que a força do material. Fora desta zona, as deformações são elásticas; dentro desta zona, as deformações são dúcteis ou quebradiças. O projétil penetra na barreira através da separação do material da barreira (Backman, 1976).

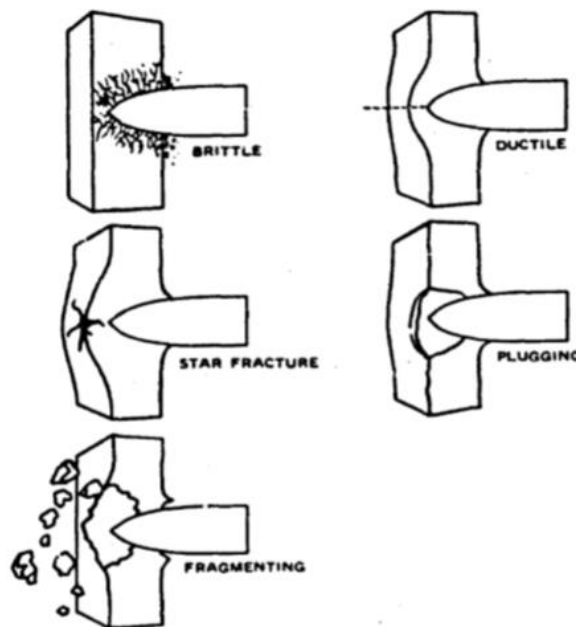


Figura 3 - Principais modos de falha por perfuração.

Fonte: Backman (1976, p. 75)

Carlucci e Jacobson (2008) utilizam uma nomenclatura diferente para se referirem a estes modos de falha, que se encontram exemplificados na Figura 4. Referem o modo *Spalling* (esboroamento) como sendo bastante comum em materiais mais fortes em compressão do que em tensão. Uma *Brittle Fracture* (fratura por fragilização) ocorre, normalmente, em alvos fracos e de baixa densidade. *Radial Cracking* (quebra radial) trata-se de um modo de falha comum em materiais cerâmicos onde a força de tensão é mais baixa do que a força de compressão. *Plugging* (sem tradução) ocorre em materiais que são razoavelmente dúcteis e quando a velocidade de impacto do projétil está próxima

do limite balístico. O modo de falha *Petaling* (sem tradução) surge quando tensões radiais ou circunferenciais são altas e a velocidade de impacto do projétil está próxima do limite balístico.

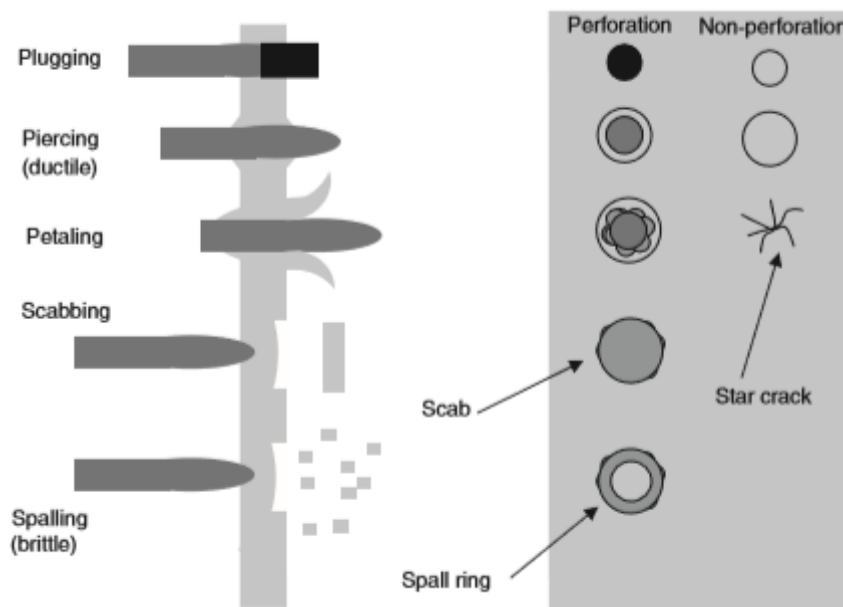


Figura 4 - Modos de falha dos alvos.

Fonte: Carlucci e Jacobson (2008, p. 316)

6.2. Penetração em vidro

Considerando que o vidro é um material presente em todas as viaturas, sendo este, regra geral, laminado se se tratar do vidro frontal e temperado nos restantes, considera-se pertinente estudar de que forma ocorre a interação entre este material e os projéteis.

Harper (1939) refere que algumas consequências deste processo são antecipadas, nomeadamente: deformação do projétil, perda de energia e ímpeto e deflexão do projétil. Heard (2008) declara que existe uma ideia generalizada de que os projéteis sofrem um desvio significativo da sua trajetória depois de penetrarem em vidro. Contudo, pela sua experiência, este considera que depois de penetrarem em vidro, geralmente, os projéteis sofrem apenas um pequeno desvio da sua trajetória.

Thornton e Cashman (1986) reiteram que o vidro temperado utilizado nas viaturas pode influenciar de forma severa a trajetória de projéteis 0.38. Também De Kinder et al. (2002) afirmam que o desvio da trajetória de um projétil ao atravessar vidro é um

fenómeno recorrente no que diz respeito ao vidro laminado presente nos para-brisas das viaturas. Os autores explicam que, uma vez que este vidro está fixo numa posição inclinada, observou-se um efeito significativo de desvio dos projéteis durante reconstruções de cenas de crimes. Por sua vez, Wilgus, White e Berry (2013) apuraram não existir um padrão específico de deflexão, sendo que os projéteis sofrem desvios em todas as direções. Aliás, a deflexão varia até em projéteis da mesma tipologia de munição e disparados pela mesma arma. Haag e Haag (2011) propõem um intervalo de variação da deflexão de -5 graus a 5 graus. Backman (1976) sublinha que não existem métodos genericamente aceites para calcular o ângulo de deflexão. Contudo, sabe-se que a velocidades próximas do limite balístico as deflexões são maiores, e que à medida que a velocidade aumenta a deflexão também aumenta. Acrescenta ainda que o ângulo crítico depende da grossura e dureza do alvo, e que é significativamente maior para projéteis de ponta achatada.

No que diz respeito à deformação sofrida pelos projéteis, Kunz et al. (2012) sublinham que a munição com maior energia cinética depois de penetrar um alvo intermédio a um determinado ângulo de disparo é aquela que demonstra a menor interação com o mesmo. Tendo isto em conta, as munições de pistola disparadas através do vidro de uma janela lateral de um veículo sofrem uma perda substancial de energia, reduzindo a sua eficácia. Este efeito é maior quando são disparadas a 30°, comparativamente a um ângulo de 90°. A precisão mantém-se a um ângulo de disparo de 90°, mas é seriamente prejudicada a um ângulo de 30°. Bless, Chen e Russell (2007) afirmam que um vidro laminado de sete camadas, sujeito a impactos de projéteis, mantém uma integridade estrutural maior que um vidro de quatro camadas, o que significa que a resistência à penetração do vidro laminado pode ser exponencialmente aumentada apenas pelo acréscimo de camadas. Contudo, Vermeij, Rijnders, Pieper e Hermesen (2012) defendem que com uma única camada deste material as pontas dos projéteis foram vigorosamente achatadas e ficaram cobertas de fragmentos de vidro em pó, visíveis a olho nu. Na perfuração do vidro laminado, os projéteis sofrem bastantes danos, observando-se a camisa do projétil a separar-se do seu núcleo com muita frequência e, por vezes, a fragmentação do mesmo. O efeito *plugging*, verificado no metal quando atingido perpendicularmente pelos projéteis, também se verifica no vidro laminado. Contudo, o *plug* possui um diâmetro maior que o calibre do projétil. No que concerne à deformação dos projéteis devido à penetração, os autores sublinham que no embate com o vidro a

deformação é acentuada, especialmente com duas camadas. Enquanto que no embate contra a fina camada de metal os projéteis sofreram um encurtamento intermédio (5.5%), no embate contra uma única camada de vidro verificou-se um encurtamento significativo do projétil (15-20%) (Vermeij et al., 2012).

6.3. Penetração em metal

Para estudar o processo de penetração dos diferentes materiais, não se pode deixar de estatuir aqueles que, genericamente, são utilizados nas viaturas automóveis. Segundo Orłowicz et al. (2015, p. 76) “os materiais metálicos são responsáveis por 80% do peso total de um automóvel, com o peso restante a ser atribuído aos plásticos, borrachas, vidro, tintas e têxteis”, sendo que o grupo de metais utilizados inclui ligas de alumínio, ligas de magnésio, materiais compósitos à base de metal e várias cerâmicas. Os mesmos autores afirmam que as ligas de alumínio são utilizadas na carroçaria, estruturas das portas, volante, entre outros. Além disso, a percentagem de alumínio utilizada nestas componentes dos veículos tem aumentado progressivamente, existindo previsões para a sua utilização em dobro nos próximos anos, em detrimento, principalmente, de materiais como o aço e o ferro fundido. Deste modo, o alumínio assume uma posição de destaque para o estudo, na medida em que se impõe como o material de eleição na constituição das viaturas automóveis no presente e no futuro. Por outro lado, Hovorun et al. (2017) declaram que, apesar da utilização de novos materiais de construção na indústria automóvel, o aço continua a ser aquele que representa a maior parte do peso de um automóvel, acrescentando ainda que as principais partes da carroçaria dos automóveis são feitas de aço, ligas de alumínio, plásticos e vidro. A utilização das ligas de alumínio prende-se, essencialmente, com o facto de estas serem bastante resistentes contra a corrosão e por terem muita elasticidade.

De acordo com Nennstiel (1999), painéis relativamente finos de aço enrolado utilizados no fabrico de automóveis são frequentemente perfurados por projéteis em tiroteios. Por este motivo, o autor considera serem de interesse forense, além da magnitude de deflexão do projétil e o seu comportamento depois da penetração, o valor da energia cinética e velocidade restantes do projétil, assim como a velocidade limite de perfuração do alvo. Além disso, Børvik, Dey e Clausen (2009) justificam a frequente utilização do aço em estruturas de proteção com o facto de se tratar de um material muito

duro e dúctil, além de ser barato quando comparado com outros materiais utilizados para blindagem. Desta forma, importa estudar um pouco os potenciais efeitos dos projéteis em placas de aço. Vermeij et al. (2012), no seu estudo sobre a interação dos projéteis com alvos intermédios, no que concerne à penetração de aço, defendem que a característica mais notável deste material é a formação de zonas distintas na ponta do projétil. O centro da ponta do projétil permanece praticamente sem qualquer dano. É circundada por duas áreas com uma aparência polida, separadas por uma barreira. Os autores acreditam que a formação destas três zonas é um reflexo das três fases no processo de penetração de um material: durante o contacto inicial, ocorre uma deformação elástica, na direção paralela à trajetória do projétil; a segunda fase inicia-se quando o alvo começa a ceder e a deformar-se plasticamente, para o aço, e a rachar, para o vidro; a terceira fase inicia-se quando a ponta do projétil atravessa o alvo, formando um orifício e expelindo um pedaço do alvo. Jankowiak et al. (2013) também dividem o processo de penetração em três fases, de acordo com a posição do projétil: impacto na estrutura, penetração da estrutura e perfuração da estrutura. Esta tripartição do processo afigura-se importante, uma vez que permite uma melhor sistematização e entendimento dos fenómenos observados, especialmente tendo em conta que “existe um grande número de parâmetros que poderão influenciar o desempenho balístico de placas metálicas, incluindo o ângulo de incidência, a forma e o tamanho do projétil, a grossura do alvo e a sua configuração” (Senthil & Iqbal, 2013, p. 53).

No tocante ao ângulo de incidência, Jankowiak et al. (2013) demonstram que à medida que o ângulo de disparo aumenta, o número de *petals* observadas no aço diminui até um ângulo crítico (do projétil) de 120° , a partir do qual se observa a ejeção de um *plug*. Os mesmos autores referem o facto de o formato do projétil influenciar o modo de falha do material penetrado. Borvik et al. (2002) parecem concordar com esta perspetiva. Tendo estudado a energia que é absorvida consoante o formato do projétil, os autores afirmam que existe uma menor absorção de energia durante o impacto balístico de um projétil de ponta achatada (*blunt*). Assim, é possível compreender que, além da velocidade do projétil e as características do aço contra o qual embate, também o seu próprio formato tem influência no processo de penetração. Em consonância com esta afirmação, Dey et al (2004) sublinham que o limite balístico de um alvo de aço é severamente afetado pelo formato da ponta do projétil, sendo que para projéteis cónicos e ogivais o limite balístico

do alvo, no que concerne à velocidade, rondaria os 300 m/s, enquanto que para projéteis de ponta achatada, estaria abaixo dos 200 m/s.

No que concerne, à configuração do alvo, Dey et al. (2007) constatarem que duas placas de aço em contacto uma com a outra são uma configuração melhor do que uma única placa ou placas espaçadas no que diz respeito à proteção balística, uma vez que concede ao alvo uma resistência à penetração consideravelmente maior. À primeira vista “parece lógico assumir que uma única placa grossa a servir de alvo seja melhor do que duas finas. Contudo, as condições de impacto relevantes para a segunda placa são substancialmente alteradas, com a introdução de um *plug* entre a ponta do projétil e a segunda placa” (Zaid et al., 1973, p. 142). Relativamente às características do material que constitui o alvo, além da sua dureza, poderá ser questionado se a “ductilidade local poderá ser um parâmetro igualmente importante” (Børvik et al., 2009, p. 948). Uma vez que a perfuração a altas velocidades se trata de um processo extremamente localizado, os tipos de aço com uma estrutura mais padronizada e comum (com um bom equilíbrio entre dureza, ductilidade e maleabilidade), em determinadas condições, poderão ser um absorvedor de energia, durante o impacto balístico, tão bom como ligas especiais de aço para blindagens. Posto isto, importa compreender se a resistência à penetração de placas de aço finas é tanto uma função de ductilidade como de dureza. Contudo, mediante a realização de testes, estes indicaram que a dureza do material se constitui como uma característica mais importante do que a ductilidade (Børvik et al., 2009).

Como se pode constatar através dos estudos anteriormente mencionados, as ligas de alumínio são um material utilizado na carroçaria dos automóveis e, aparentemente, continuarão a ser utilizadas no futuro. Por este motivo, atendendo ao objeto de estudo desta dissertação, importa aprofundar a forma como o alumínio se comporta ao ser atingido por projéteis.

Khan, Ansari e Gupta (2003) estudaram o impacto de projéteis de aço endurecido com placas de alumínio a diferentes ângulos. Os autores salientam, em especial, os efeitos da grossura da placa de alumínio e da obliquidade, não só no processo de penetração, mas também na energia absorvida. Relativamente à obliquidade, os autores constatarem que a velocidade residual diminui à medida que o ângulo de obliquidade aumenta, sendo este efeito bastante maior em velocidades baixas. Também a energia absorvida aumenta com o aumento do ângulo de obliquidade. Este ângulo afeta o modo de deformação da placa de alumínio, sendo formado um *plug* circular num impacto normal, e um *plug* elítico num

impacto oblíquo. Børvik et al. (2011) estudaram as munições 7.62x63 mm NATO *Ball* (núcleo mole de chumbo) e 7.62x63mm APM2 (núcleo duro de aço), que também serão utilizadas no presente estudo, no embate contra uma placa de alumínio. O alvo foi atingido a uma obliquidade de 0°, 15°, 30°, 45° e 60°, a uma velocidade de impacto de cerca de 830 m/s. As munições de núcleo duro, disparadas a um ângulo de até 30°, seguiram sem que a sua velocidade fosse afetada. Por outro lado, com as munições de núcleo mole, foram observadas maiores quedas de velocidade num disparo oblíquo.

Jones e Paik (2013), à semelhança dos estudos de Borvik et al. (2002), revelam que também no alumínio o formato do projétil se revela um fator importante a considerar. Os autores revelam que os projéteis de ponta achatada, a velocidades baixas ou moderadas, são aqueles que necessitam de menos energia de impacto para perfurar uma placa de liga de alumínio. Em contrapartida, os projéteis de ponta hemisférica são os que requerem mais energia para produzirem o mesmo efeito. Convém mencionar que os autores consideraram velocidades baixas aquelas situadas abaixo dos 20 m/s e moderadas entre os 20 e os 300 m/s. Estes resultados parecem consistir com os estudos de Rodríguez-Millán et al. (2013), que apontam os projéteis de ponta achatada como os penetradores mais eficazes. Contudo, também o diâmetro do projétil poderá influenciar o desempenho balístico dum determinado alvo. Foi precisamente isto que Senthil e Iqbal (2013) se propuseram a estudar, chegando à conclusão de que, de facto, esta influência existe. De acordo com os autores, o desempenho balístico de um determinado alvo aumenta com o aumento do diâmetro do projétil, concluindo que o limite balístico de um alvo monolítico é 23% e 39% mais alto quando embatido por projéteis de 24mm de diâmetro quando comparado com o embate de projéteis de 19 e 15 mm de diâmetro, respetivamente. Para alvos em camadas, o limite balístico aumentou em 21% e 37%, respetivamente. De salientar ainda que o limite balístico de um alvo monolítico é 8% mais alto que um alvo em camadas encostadas contra um determinado projétil, o que vai contra aquilo que foi afirmado por Dey et al. (2007) relativamente a alvos de aço. Também o modo de falha do alvo é afetado pelo diâmetro do projétil, uma vez que os autores verificaram a formação de *petals* progressivamente maiores à medida que se aumenta o calibre do projétil. Globalmente, a “deformação de tanto os alvos monolíticos como de camadas aumentou com o aumento do calibre do projétil. A altura e o encurvamento das *petals* também aumentaram com o aumento do calibre do projétil. Desta forma, pode-se concluir que o desempenho do projétil foi maior. Logo, o alvo, contra um projétil de calibre maior,

ofereceu um melhor desempenho” (Senthil & Iqbal, 2013, p. 64). No que concerne ao facto de os projéteis serem rígidos ou deformáveis, os autores verificaram que o alvo ofereceu a mesma resistência balística a ambos, sendo que a intensidade global da deformação do alvo também foi muito similar para ambos os projéteis.

Apesar de se revelarem em números bastante reduzidos, existem alguns estudos realizados, especificamente, sobre o embate de projéteis contra as portas de viaturas, como é o caso do de Fogleman, Craigie e Stobbe (2005). Estes autores indicam, essencialmente, que a proporção da penetração dos projéteis na porta de uma viatura aumenta com o calibre e com o ângulo de disparo, demonstrando que existem diferenças significativas na proporção de penetração à medida que o calibre é aumentado, e que à medida que o ângulo de disparo diminui, a proporção de penetração tem tendência para ser menor. Salienta-se ainda o facto de, mesmo não existindo penetração completa da porta, existir potencial para a ocorrência de ferimentos, devido aos estilhaços da porta que poderão ser projetados para o interior do veículo (Fogleman et al., 2005).

II. PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO

O problema de investigação do presente estudo traduz-se na pergunta seguinte:
Qual o comportamento de projéteis na estrutura metálica do habitáculo de viaturas não blindadas?

III. OBJETIVOS DE INVESTIGAÇÃO

O objetivo geral da presente investigação é estudar o comportamento de vários tipos de projéteis metálicos quando estes atingem a estrutura de uma viatura, avaliando todos os fenómenos que ocorrem na viatura e na estrutura dos projéteis.

Os objetivos específicos são:

- Verificar que projéteis penetram ou perfuram a estrutura metálica do habitáculo da viatura;
- Estudar as alterações de trajetória dos projéteis;
- Verificar em que casos existe fragmentação dos projéteis;
- Estudar as deformações dos projéteis;
- Perceber quais os efeitos dos projéteis no metal do habitáculo da viatura através do estudo dos orifícios de entrada e de saída;
- Verificar a velocidade e energia cinética restantes dos projéteis depois de atravessarem a viatura;
- Estudar as deformações provocadas pelo vidro do para-brisas da viatura nos projéteis da munição 9x19mm FMJ, e as alterações à sua trajetória;
- Comparar os efeitos provocados por projéteis diferentes, disparados por armas diferentes, a diferentes distâncias e ângulos de disparo.

IV. HIPÓTESES DE INVESTIGAÇÃO

Foram formuladas as seguintes hipóteses:

- Todos os projéteis disparados perfuram ambas as portas da viatura, independentemente do ângulo de disparo;
- Os projéteis das munições 7,62x51mm NATO e 5,56x45mm NATO fragmentam ao embater na estrutura das portas das viaturas, contrariamente aos das munições 7,62x39mm *Kalashnikov*;
- A trajetória dos projéteis não é significativamente alterada pela perfuração das portas da viatura;
- O para-brisas da viatura não causa deformações significativas nos projéteis da munição 9x19mm FMJ;
- O para-brisas da viatura origina sempre uma deflexão notória na trajetória do projétil.

V. MATERIAL E MÉTODO

1. MATERIAL

Para tornar possível a realização do presente estudo, foram necessários vários materiais, que a seguir se identifica e caracteriza.

1.1. Armas de Fogo

As armas de fogo utilizadas na experiência são as constantes na Tabela 1.

Tabela 1 - Armas utilizadas para efetuar os disparos.

Tipo	Marca	Modelo	Calibre	Comprimento (mm)	Comprimento do cano (mm)	Massa (Kg)
Carabina	Kalashnikova	RPK 74	7.62mm	1040	590	4,80
Carabina	Fabrique Nationale	FAL	7.62mm	1090	533	4,45
Carabina	ArmaLite Rifle	15	5.56mm	986	508	3,40
Pistola-metralhadora	Fabrique Nationale	P90	5.7mm	500	267	2,54
Pistola semiautomática	Glock	19	9mm	186	114	0,625
Revólver	Dan Wesson	14	.38	102	57	0,856
Revólver	Charter Arms	Undercoverette	.32	170	51	0,454
Pistola semiautomática	Walther	PP	7.65mm	170	98	0,660

Fonte: Autor

1.2. Munições

Foram experimentadas as munições cujos dados identificativos e característica se apresentam na Tabela 2. As munições efetivamente estudadas são as constantes na Figura 5: por ordem, da esquerda para a direita – 7,62x39mm FMJ; 7,62x39mm AP; 7,62x51mm FMJ; 5,56x45mm FMJ; 5,7x28mm AP; 9x19mm FMJ; 7,65x17mm FMJ.

Tabela 2 – Munições utilizadas.

Tipologia	Calibre	Massa (g/gr)	Massa carga propulsora (g/gr)	Formato
FMJ	7,62x39 mm	7,87 / 121,45	1,62 / 25	Bi-ogival
AP	7,62x39 mm	7,97 / 122,99	1, 62 / 25	Bi-ogival
FMJ	7,62X51 mm	9,47 / 146,14	2,95 / 45,52	Bi-ogival
FMJ	5,56x45 mm	3,54 / 54,63	1,73 / 26,70	Bi-ogival
AP	5,7x28 mm	2,02 / 31,17	0,43 / 6,63	Bi-ogival
FMJ	9x19 mm	7,96 / 122,84	0,43 / 6,63	Tronco-cónica
FMJ	7,65x17 mm	4,60 / 70,98	0,18 / 2,78	Tronco-cónica
Special	.32	--	--	--
S&W	.38	--	--	--

Fonte: Autor



Figura 5 - Munições utilizadas.

Fonte: Autor

1.3. Viatura

Os disparos foram efetuados contra uma viatura ligeira de passageiros, com a estrutura metálica do habitáculo intacta, cujas características constam da Tabela 3, e cujo aspeto exterior pode ser observado na Figura 6.

Tabela 3 – Características técnicas da viatura.

Marca	Modelo	Ano	Comprimento	Largura	Altura	Massa	Portas
Fiat	Uno	1986	3690 mm	1560 mm	1420 mm	910 kg	De chapa metálica não blindada

Fonte: Autor



Figura 6 – Vista da parte lateral da viatura para onde foram realizados os disparos.

Fonte: Autor

1.4. Outros materiais

Foram ainda utilizados os materiais seguintes:

- 2 sacos de areia fina, cada um pesando 25 kg, para parar os projéteis;
- Uma mesa, para apoiar as armas durante os disparos, e uma cadeira, para o atirador realizar o disparo em posição de sentado;
- Uma fita métrica de 50 metros, para medição das distâncias de disparo, e um transferidor, para obtenção dos ângulos de incidência dos disparos;
- Uma câmara fotográfica digital e uma câmara de filmar digital, para recolha de imagens e filmes;
- Um gerador a gasóleo, para fornecimento de energia elétrica às câmaras de alta velocidade e ao computador.

2. MÉTODO

Em termos metodológicos, esta investigação apresenta uma conceção de pesquisa conclusiva. As pesquisas conclusivas podem ser causais, como é o caso do presente estudo. A abordagem de pesquisa causal tem como principal objetivo determinar relações de causa e efeito (causais). Desta forma, é apropriada para compreender as causas (variáveis independentes) e os efeitos do fenómeno (variáveis dependentes), e determinar a natureza da relação entre as variáveis causais e o efeito a ser previsto. Isto exige que as variáveis independentes que possam afetar a variável dependente sejam manipuladas num ambiente relativamente controlado (Malhotra, 2002).

O principal método da pesquisa causal é o método experimental. Este método fundamenta-se na experimentação, estabelecendo relações de causa-efeito para explicar determinadas situações ou ocorrências (Sarmiento, 2013). O controlo das variáveis estranhas é uma das características a que têm de obedecer os estudos experimentais, caso contrário trata-se de um estudo quase-experimental, como é exemplo esta investigação (Kerlinger & Lee, 2000). Assim, as variáveis independentes foram as seguintes: as armas de fogo, as munições e respetivos projéteis, as distâncias de disparo e os ângulos de incidência dos disparos. As unidades de teste foram a estrutura metálica da viatura e vidro da viatura. As variáveis dependentes consistem nos efeitos observados.

2.1. Procedimentos

A realização prática do presente estudo teve lugar numa carreira de tiro da Unidade Especial de Polícia da PSP (UEP/PSP), e estendeu-se durante um período de três dias (20 a 22 de março de 2019). Todos os disparos foram realizados por um atirador credenciado da UEP/PSP. A condução do estudo foi orientada pelo orientador da dissertação, com a colaboração de investigadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e da Academia Militar. Para averiguar os procedimentos mais corretos a aplicar, assim como perceber as principais dificuldades a enfrentar, começou por realizar-se um pré-teste. Este consistiu na concretização de dois disparos de cada uma das munições descritas na Tabela 2, contra a porta frontal esquerda do veículo. Os disparos de teste com as carabinas e com a pistola-metralhadora foram feitos a 10 metros, um a 90° e outro a 45°; com as pistolas semiautomáticas e com os revólveres

foram feitos a 5 metros, igualmente a 90° e a 45°. Para cada disparo realizado, com a câmara de filmar, registou-se o momento de impacto do projétil na porta; com a câmara fotográfica, foram registados os orifícios de entrada e de saída do projétil. Em cada orifício, foi escrito, a marcador, a designação do projétil que o originou. O pré-teste permitiu verificar que era necessário retirar todos os mecanismos e todos os revestimentos internos das portas da viatura, assim como o volante e os bancos, por estes interferirem com a trajetória dos projéteis e induzirem vieses, bem como a impossibilidade de recolha de alguns projéteis. Foi ainda testada a colocação dos sacos de areia, junto às portas do lado direito da viatura, para absorção dos projéteis (Figura 7).



Figura 7 - Sacos de areia utilizados para a recolha dos projéteis disparados.

Fonte: Autor

Seguidamente, através da realização de disparos livres, foram medidas as velocidades dos projéteis à saída da boca do cano (V_0), a 10 metros (V_{10}), e a 25 metros (V_{25}), bem como a respetiva energia cinética (E_c) do projétil em cada disparo.



Figura 8 - Posição do atirador com o aparelho de medição Labrador.

Fonte: Autor

Aquando da realização dos testes propriamente ditos, foi retirada a porta da bagageira da viatura, para permitir recolher as imagens com as câmaras de alta velocidade. O tablier do veículo foi coberto com material branco, para ocultar a cor escura daquele e, assim, conseguir o contraste necessário entre o projétil e o plano de fundo.

Para a captação das trajetórias e velocidades dos projéteis foram montadas duas câmaras de alta velocidade na traseira da viatura, uma para captar o percurso do projétil no habitáculo do veículo, e outra, a saída do lado direito do veículo. As câmaras tiveram de ser montadas e calibradas de modo rigoroso, para que se obtivesse os dados pretendidos. Estas foram alimentadas pelo gerador colocado no local e transmitiam as imagens captadas diretamente para um computador portátil, no qual foi possível, de imediato, verificar se as imagens captadas correspondiam ao pretendido.

Depois de as câmaras de alta velocidade estarem corretamente posicionadas, foi medida a distância entre o ponto de impacto dos projéteis (lado direito do veículo) e o local onde estaria posicionado o atirador: 10 metros para as carabinas e pistola-metralhadora e 5 metros para pistolas. Foram igualmente definidos os locais concretos onde estaria posicionado o atirador, de forma a realizar os disparos nos ângulos pretendidos: 90°, 60° e 45°.

Quanto aos disparos propriamente ditos, foram realizadas três repetições para cada munição. No momento em que o atirador disparava, as câmaras de alta velocidade eram acionadas à distância, com um dispositivo próprio. De seguida, confirmava-se a gravação no computador, identificava-se, com marcador, os orifícios de entrada e de saída do projétil e fotografava-se este registo. Nos casos em que as câmaras de alta velocidade não captaram os disparos, foram repetidos. Este processo foi replicado para todos os disparos realizados.

Em data posterior à realização dos testes, as portas do veículo foram devidamente preservadas e transportadas para a sala de criminalística do Instituto Superior de Ciências Policiais e Segurança Interna (ISCPSI). Neste espaço foi possível, num ambiente mais controlado e usufruindo de mais tempo, proceder à medição dos orifícios de entrada e de saída dos projéteis, assim como à reconstrução da sua trajetória, através da análise das imagens captadas pelas câmaras de alta velocidade. A medição dos orifícios foi concretizada através da utilização do paquímetro de metal (Figura 11), mencionado a seguir nos instrumentos utilizados. Uma vez que não foi possível dispor de um

paquímetro digital - que seria capaz de fornecer uma medição mais precisa - admite-se um erro de 0,5mm a menos ou 0,5mm a mais dos valores medidos sobre os orifícios.

Relativamente aos projéteis alojados nos sacos de areia, os mesmos foram recolhidos, através da crivagem da areia, nas instalações do ISCPSI. Depois de retirados da areia, os projéteis foram lavados e catalogados, associando-os à tipologia de projétil utilizado e à arma que o terá disparado. Os projéteis recolhidos foram analisados individualmente, sendo registadas as suas alterações estruturais: deformações, perdas de massa e perdas de revestimento. Foram igualmente recolhidos todos os fragmentos da estrutura dos projéteis, não passíveis de serem associados a um projétil em particular. Igualmente nas instalações do ISCPSI, foi realizada a pesagem de um exemplar intacto de cada uma das munições disparadas, da carga propulsora e do projétil, para comparação com a massa dos projéteis recolhidos e descrição minuciosa das munições. Para tal, foi desmontada cada uma das munições nos seus conteúdos/componentes principais (invólucro, carga propulsora e projétil). As medições da massa foram realizadas individualmente para cada componente, numa balança de precisão. Para a medição da massa da carga propulsora procedeu-se do modo seguinte: pesou-se uma tampa de garrafa de água de plástico para cada carga propulsora; colocou-se a carga propulsora na tampa e pesou-se o conjunto; calculou-se a diferença entre a massa deste conjunto e a massa da tampa, obtendo-se a massa da carga propulsora.

2.2. Instrumentos

Para se observar de uma forma clara a trajetória e o movimento dos projéteis depois de estes penetrarem cada uma das portas, os disparos foram registados com recurso a uma câmara de alta velocidade denominada *Fastcam Mini AX*, sendo o modelo utilizado o AX100 do tipo 540K (Figuras 9 e 10). Este aparelho é capaz de registar um máximo de 540 000 *frames* por segundo, possuindo uma memória interna de 16 *Gigabits*. Este modelo consegue fornecer uma resolução de imagem por *megapixel* de 1024 x 1024 a um ritmo de 4 000 *frames* por segundo. As suas dimensões são de 120mm x 120mm x 94mm (altura x largura x profundidade), e pesa apenas 1.5 kg. Assim, estas câmaras são capazes de captar os fragmentos mais indelévels. A leitura dos dados captados pelas câmaras foi realizada através do software *Photron Fastcam Viewer IV*.



Figura 9 - Fastcam Mini AX100 (1).

Fonte: Autor



Figura 10 - Fastcam Mini AX100 (2).

Fonte: Autor

A medição dos orifícios de entrada e de saída dos projéteis foi realizada através de um paquímetro de metal.



Figura 11 -Paquímetro de metal empregue para a medição dos orifícios.

Fonte: Autor

Para a medição das velocidades atingidas por cada projétil em trajetória livre, foi utilizado um aparelho de medição denominado de *Labradar* (Figura 12). A utilização deste equipamento permitiu não só a medição precisa da velocidade atingida pelos projéteis à saída do cano e às distâncias de 10 e 25 metros, mas também a obtenção da energia cinética detida pelos projéteis às referidas distâncias, a velocidade média e a velocidade máxima e mínima.



Figura 12 – Labradar, medidor de velocidades.

Fonte: Autor

Para a pesagem da carga propulsora de cada tipo de munição, dos projéteis intactos e dos projéteis recolhidos, foi utilizada uma balança de precisão da marca *Kern*, modelo EG 4200-2NM, com uma gama de pesagem máxima de 4200 gramas e carga mínima de 0,5 gramas, tal como se observa na Figura 13.



Figura 13 - Balança de precisão.

Fonte: Autor

VI. RESULTADOS

1. VELOCIDADES E ENERGIA CINÉTICA DOS PROJÉTEIS

Nas tabelas que se seguem, apresentam-se os valores da velocidade dos projéteis (V) e respetiva energia cinética (E_c), medidas através do aparelho de medição de velocidades *Labradar*. Podem ser observados, para cada disparo, a velocidade (m/s) à boca do cano (V_0), a 10 metros (V_{10}) e a 25 metros (V_{25}), bem como a energia cinética (E_c) possuída pelos projéteis, igualmente à boca do cano (E_{c0}), a 10 metros (E_{c10}) e a 25 metros (E_{c25}). A unidade de medida da velocidade é metros por segundo. A unidade de medida da energia cinética é Joules. A unidade de massa do projétil é gramas.

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição 7,62x39mm FMJ (Kalashnikov), com uma massa de 7,9g, disparado com a carabina RPK-74. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 693 m/s (min=603 m/s; máx=732 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 1906,62 J (min=1437,16 J; máx=2116,43 J).

Tabela 4 – V e E_c dos projéteis da munição 7,62x39mm FMJ.

Disparo	V_0	V_{10}	V_{25}	E_{c0}	E_{c10}	E_{c25}
1	647	0	0	1651,39	0	0
2	728	728	721	2090,67	2090,67	2054,06
3	719	709	693	2040,5	1982,2	1894,07
4	606	603	591	1449,36	1437,16	1378,86
5	743	732	716	2181,51	2116,43	2026,94

Fonte: Autor

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição 7,62x39mm AP (Kalashnikov), com uma massa de 7,9g, disparado com a carabina RPK-74. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 731,8 m/s (min=723 m/s; máx=737 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 2112,9 J (min=2062,19 J; máx=2142,19 J).

Tabela 5- V e Ec dos projéteis da munição 7,6x39mm AP.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	746	735	717	2196,42	2129,98	2029,65
2	740	729	713	2159,81	2098,8	2009,32
3	747	737	721	2203,2	2142,19	2051,35
4	745	735	718	2193,71	2131,34	2037,79
5	733	723	707	2121,85	2062,19	1972,71

Fonte: Autor

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição 7,62x51mm FMJ (NATO), com uma massa de 9,5g, disparado com a carabina FN FAL. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 818,6 m/s (min=810 m/s; máx=823 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 3183,19 J (min=3118,38 J; máx=3218,71 J).

Tabela 6 - V e Ec dos projéteis da munição 7,62x51mm FMJ.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	825	817	804	3233,62	3169,9	3070,92
2	828	820	807	3255,31	3191,59	3095,33
3	832	823	811	3285,14	3218,71	3122,44
4	818	810	800	3178,03	3118,38	3039,74
5	832	823	809	3289,21	3217,35	3110,24

Fonte: Autor

Na Tabela 7 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição 5,56x45mm FMJ (NATO), com uma massa de 3,56g, disparado com a carabina AR-15. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 945 m/s (min=921 m/s; máx=951 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 1578,19 J (min=1511,73 J; máx=1612,06 J).

Tabela 7 - V e Ec dos projéteis da munição 5,56x45mm FMJ.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	965	951	929	1659,52	1612,06	1538,85
2	963	951	931	1651,38	1610,71	1544,27
3	954	941	921	1621,55	1578,17	1509,02
4	959	941	920	1636,47	1578,17	1509,02
5	934	921	901	1555,12	1511,73	1446,65

Fonte: Autor

Na Tabela 8 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição 5,7x28mm AP, com uma massa de 2g, disparado com a pistola metralhadora. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 692,8 m/s (min=689 m/s; máx=695 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 479,14 J (min=474,53 J; máx=482,67 J).

Tabela 8 - V e Ec dos projéteis da munição 5,7x28mm AP.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	708	692	666	501,65	478,6	441,99
2	710	692	665	503	478,6	441,99
3	706	689	664	497,58	474,53	440,64
4	710	696	668	503	482,67	444,7
5	712	695	669	505,72	481,31	446,06

Fonte: Autor

Na Tabela 9 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição .38 *Special*, com uma massa de 10,10g disparado com o revólver Dan Wesson. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 235,4 m/s (min=233 m/s; máx=238 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 278,83 J (min=273,87 J; máx=286,07 J).

Tabela 9 - V e Ec dos projéteis da munição .38 Special.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	240	237	233	291,5	283,36	272,51
2	237	234	230	282,01	276,58	267,09
3	236	233	230	280,65	273,87	265,74
4	243	238	233	298,27	286,07	273,87
5	238	235	232	284,72	279,29	269,8

Fonte: Autor

Na Tabela 10 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição .32 S&W, com uma massa de 6,5g, disparado com o revólver 32 Charter. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 179,4 m/s (min=119 m/s; máx=214 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 108,46 J (min=46,09 J; máx=149,13 J).

Tabela 10 - V e Ec dos projéteis da munição .32 S&W.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	121	119	117	46,09	46,09	43,38
2	173	169	165	96,26	92,19	86,77
3	218	214	209	153,2	149,13	141
4	218	214	209	154,56	149,13	141
5	184	181	176	109,82	105,75	100,33

Fonte: Autor

Na Tabela 11 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição 9x19mm FMJ, com uma massa de 7,4g, disparado com a pistola semiautomática Glock 19. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 325,2 m/s (min=318 m/s; máx=336 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 390,47 J (min=372,84 J; máx=416,23 J).

Tabela 11 - V e Ec dos projéteis da munição 9 x 19mm FMJ.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	332	326	318	406,74	393,18	372,84
2	325	320	313	389,11	378,27	362
3	331	326	318	405,38	391,83	372,84
4	323	318	310	385,05	372,84	355,22
5	342	336	325	432,5	416,23	391,83

Fonte: Autor

Na Tabela 12 apresentam-se os resultados medidos para o projétil da munição 7,62x17mm FMJ, com uma massa de 4,6g, disparado com a pistola semiautomática Walther PP. A velocidade média dos projéteis a 10 metros foi de 278,2 m/s (min=271 m/s; máx=286 m/s). A energia cinética média dos projéteis a 10 metros foi 177,88 J (min=168,12 J; máx=188,45 J).

Tabela 12 - V e Ec dos projéteis da munição 7,65x17mm FMJ.

Disparo	V ₀	V ₁₀	V ₂₅	Ec ₀	Ec ₁₀	Ec ₂₅
1	283	279	273	183,03	178,96	170,83
2	285	280	273	185,74	180,32	170,83
3	279	275	269	177,61	173,54	165,4
4	274	271	266	172,18	168,12	161,34
5	290	286	280	193,88	188,45	180,32

Fonte: Autor

2. BALÍSTICA DOS EFEITOS: PENETRAÇÃO E ATRAVESSAMENTO

2.1. Efeitos na estrutura metálica da viatura

2.1.1. Disparos realizados no pré-teste

Seguidamente, são apresentados os resultados relativos à ação dos projéteis nas portas da viatura. Apresentam-se primeiro os resultados obtidos no pré-teste, depois, os resultados dos testes balísticos propriamente ditos. Por fim, evidenciam-se também os resultados relativos aos disparos efetuados contra o vidro do para-brisas do veículo.

Na Tabela 13 estão presentes os resultados dos disparos realizados no pré-teste, a uma distância de 10 metros para as carabinas e para a pistola-metralhadora, e 5 metros para as pistolas e revólveres, e a um ângulo de 90°. Como se pode observar, os projéteis disparados pelas carabinas, pela pistola-metralhadora e pela pistola semiautomática Glock 19, perfuraram ambas as portas. Os projéteis disparados pelos revólveres não perfuraram qualquer uma das portas. Isto deveu-se ao facto de terem atingido a porta do condutor do veículo numa parte mais baixa, onde existe um reforço de material na porta. Por tal motivo, foi feito mais um disparo com cada revólver, tendo os projéteis atravessado a porta do condutor sem qualquer dificuldade. O projétil disparado com a pistola Walther PP não penetrou a segunda porta. No entanto, nesta fase ainda não tinham sido retirados os forros das portas nem os bancos presentes no interior da viatura, o que poderá estar na origem do comportamento observado.

Tabela 13 - Ação dos projéteis nas portas do veículo (90°).

Disparos	Arma	Munição	Distância	Ângulo de incidência	Perfurou a 1ª porta?	Perfurou a 2ª porta?
1	RPK-74	7,62x39mm FMJ	10 m	90°	Sim	Sim
2	RPK-47	7,62x39mm AP	10 m	90°	Sim	Sim
3	FN FAL	7,62x51mm FMJ	10 m	90°	Sim	Sim
4	AR-15	5,56x45mm FMJ	10 m	90°	Sim	Sim
5	FN P90	5,7x28mm AP	10 m	90°	Sim	Sim
6	Glock 19	9x19mm FMJ	5 m	90°	Sim	Sim
7	Revólver Dan Wesson	.38 Special	5 m	90°	Não	Não
8	Revólver 32 Charter	.32 S&W	5 m	90°	Não	Não
9	Walther PP	7,65x17mm FMJ	5 m	90°	Sim	Não

Fonte: Autor

A Tabela 14 diz respeito aos disparos efetuados no pré-teste, a um ângulo de 45°. Mais uma vez, os projéteis disparados pelas carabinas e pistola-metralhadora perfuraram ambas as portas. Os projéteis disparados pelas pistolas e pelos revólveres apenas perfuraram a porta do condutor. Isto poderá dever-se à perda de velocidade por se tratarem de disparos oblíquos e, ainda, devido à presença dos bancos no interior da viatura, sendo que alguns destes projéteis ficaram alojados no interior dos mesmos. Isto levou à decisão de retirar os bancos e o material presente no interior das portas para a realização do teste propriamente dito. Apenas desta forma se conseguiria obter resultados que refletissem os efeitos do material da porta nos projéteis e vice-versa, sem a influência de outros fatores.

Tabela 14 - Ação dos projéteis nas portas do veículo (45°).

Disparos	Arma	Munição	Distância	Ângulo de incidência	Perfurou a 1ª porta?	Perfurou a 2ª porta?
1	RPK-74	7,62x39mm FMJ	10 m	45°	Sim	Sim
2	RPK-74	7,62x39mm AP	10 m	45°	Sim	Sim
3	FN FAL	7,62x51mm FMJ	10 m	45°	Sim	Sim
4	AR 15	5,56x45mm FMJ	10 m	45°	Sim	Sim
5	FN P90	5,7x28mm FMJ	10 m	45°	Sim	Sim
6	Glock 19	9x19mm FMJ	5 m	45°	Sim	Não
7	Revólver Dan Wesson	.38 Special	5 m	45°	Sim	Não
8	Revólver 32 Charter	.32 S&W	5 m	45°	Sim	Não
9	Walther PP	7,65x17mm FMJ	5 m	45°	Sim	Não

Fonte: Autor

2.1.2. Disparos realizados nos testes balísticos

A seguir, apresentam-se os resultados verificados aquando dos testes balísticos propriamente ditos.

Na Tabela 15 observam-se todos os disparos efetuados a um ângulo de incidência de 90°. As distâncias foram de 10 metros para as carabinas e pistola-metralhadora e de 5 metros para as pistolas. Foram realizados quatro disparos com as munições 7,62x39mm FMJ e 5,56x45mm FMJ devido à falha das câmaras de alta velocidade, que não conseguiram captar as imagens pretendidas (trajetória do projétil). Por este motivo, foi necessário realizar um disparo a mais, em comparação com as outras munições. É possível observar que todos os projéteis perfuraram a primeira porta e que apenas um projétil 9mm e outro 7,65mm não perfuraram a segunda. Isto significa que a maioria dos projéteis manteve uma velocidade e energia suficientemente altas para a perfuração das duas portas, assim como uma trajetória suficientemente estável e retilínea. De realçar que o primeiro disparo da munição 9x19mm FMJ não perfurou a segunda porta, mas causou uma contundência muito forte na segunda porta do veículo, ou seja, existiu penetração, mas não trespassamento. Também o primeiro disparo da munição 7,65x17mm FMJ se revelou incapaz de perfurar a segunda porta.



Figura 14 - Orifícios de saída provocados por projéteis da munição 5,56x45mm FMJ.

Fonte: Autor

Tabela 15 - Ação dos projéteis nas portas do veículo (90°).

Arma	Munição	Disparos	Distância	Ângulo de incidência	Perfurou a 1ª porta?	Perfurou a 2ª porta?
RPK-74	7,62x39mm FMJ	1	10 m	90°	Sim	Sim
		2	10 m	90°	Sim	Sim
		3	10 m	90°	Sim	Sim
		4	10 m	90°	Sim	Sim
RPK-74	7,62x39mm AP	1	10 m	90°	Sim	Sim
		2	10 m	90°	Sim	Sim
		3	10 m	90°	Sim	Sim
FN FAL	7,62x51mm FMJ	1	10 m	90°	Sim	Sim
		2	10 m	90°	Sim	Sim
		3	10 m	90°	Sim	Sim
AR-15	5,56x45mm FMJ	1	10 m	90°	Sim	Sim
		2	10m	90°	Sim	Sim
		3	10 m	90°	Sim	Sim
		4	10m	90°	Sim	Sim
FN P90	5,7x28mm AP	1	10 m	90°	Sim	Sim
		2	10 m	90°	Sim	Sim
		3	10 m	90°	Sim	Sim
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	90°	Sim	Não
		2	5 m	90°	Sim	Sim
		3	5 m	90°	Sim	Sim
Walther PP	7,65x17mm FMJ	1	5 m	90°	Sim	Não
		2	5 m	90°	Sim	Sim
		3	5 m	90°	Sim	Sim

Fonte: Autor

Na Tabela 16 estão os resultados dos disparos realizados com a pistola semiautomática Glock 19, utilizando a munição 9x19mm FMJ, a 60° e a 45°. Todos estes disparos foram efetuados contra a porta traseira do lado esquerdo do veículo. Todos os projéteis trespassaram a porta.

Tabela 16 - Ação dos projéteis na porta do veículo (60° e 45°).

Arma	Munição	Disparos	Distância	Ângulo de incidência	Perfurou a 1ª porta?	Perfurou a 2ª porta?
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	60°	Sim	Não
		2	5 m	60°	Sim	Não
		3	5 m	60°	Sim	Não
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	45°	Sim	Não
		2	5 m	45°	Sim	Não
		3	5 m	45°	Sim	Não

Fonte: Autor

2.2. Efeitos no para-brisas da viatura

A Tabela 17 diz respeito aos três disparos efetuados contra o vidro para-brisas da viatura. O disparo foi realizado horizontalmente para o vidro, originando um ângulo de incidência do projétil aproximado de 45°. Verificou-se que todos os disparos defletiram em sentido descendente.

Tabela 17 - Ação dos projéteis no para-brisas.

Arma	Munição	Disparos	Distância	Ângulo de incidência	Perfurou o Vidro?
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	45°	Sim
		2	5 m	45°	Sim
		3	5 m	45°	Sim

Fonte: Autor

3. BALÍSTICA DOS EFEITOS: ORIFÍCIOS DE ENTRADA E DE SAÍDA

3.1. Disparos realizados no pré-teste

Na Tabela 18 observam-se as dimensões aproximadas dos orifícios de entrada e de saída dos projéteis nas portas do veículo, quando disparados a um ângulo de 90° e a uma distância de 10 metros para as carabinas e pistola-metralhadora, e a uma distância de 5 metros para as pistolas e revólveres. Algumas medições foram impossibilitadas pelo facto de os projéteis não terem perfurado a porta (“Não perfurou”), ou por terem saído no mesmo local que outros projéteis, ampliando e deformando o orifício de saída já existente (“Inconclusivo”). Os orifícios de entrada assumem todos o formato de uma circunferência, e um diâmetro aproximado ao calibre do projétil que o originou. Contudo, e mesmo tendo em conta a margem de erro admitida (0,5mm), constata-se que o diâmetro do orifício de entrada é quase sempre ligeiramente menor que o calibre do projétil. Isto poderá dever-se ao facto de o material que compõe a porta do veículo ser suficientemente dúctil para alargar temporariamente aquando da entrada do projétil e, seguidamente, encolher um pouco. Quanto aos orifícios de saída, uma vez que assumem, na maior parte das vezes, um formato oval, foi necessário proceder-se à medição da sua largura (“La”) (medida menor) e do seu comprimento (“Co”) (medida maior). Em relação ao orifício de entrada do projétil respeitante à munição .38 *Special*, tratou-se de um disparo que apenas penetrou a 1ª porta, tendo o projétil ficado alojado no interior da mesma.

Tabela 18 - Dimensão e formato dos orifícios.

Disparo	Arma	Munição	Distância	Ângulo de incidência	Orifício de entrada	Orifício de saída (La)	Orifício de saída (Co)	Formato
1	RPK-74	7,62x39mm FMJ	10 m	90°	7mm	21mm	Inconclusivo	Oval
2	RPK-74	7,62x39mm AP	10 m	90°	7mm	8mm	19mm	Oval
3	FN FAL	7,62x51mm FMJ	10 m	90°	7mm	7mm	18mm	Oval
4	AR-15	5,56x45mm FMJ	10 m	90°	5mm	8mm	11mm	Oval
5	FN P90	5,7x28mm AP	10 m	90°	5mm	6mm	Inconclusivo	Circular
6	Glock 19	9x19mm FMJ	5 m	90°	9mm	10mm	13mm	Oval
7	Revólver Dan Wesson	.38 Special	5 m	90°	Não perfurou	Não perfurou	Não perfurou	-----
8	Revólver 32 Charter	.32 S&W	5 m	90°	Não perfurou	Não perfurou	Não perfurou	-----
9	Walther PP	7,65x17mm FMJ	5 m	90°	7mm	Não perfurou	Não perfurou	-----

Fonte: Autor

A Tabela 19 contém as dimensões dos orifícios de entrada e de saída relativos aos disparos efetuados a 45°, no pré-teste. Por se tratarem de disparos oblíquos, verifica-se um aumento significativo do diâmetro dos orifícios de entrada. Também os orifícios de saída possuem maiores dimensões, especialmente no que concerne ao seu comprimento, pelo que os seus formatos são todos ogivais (Figura 15).

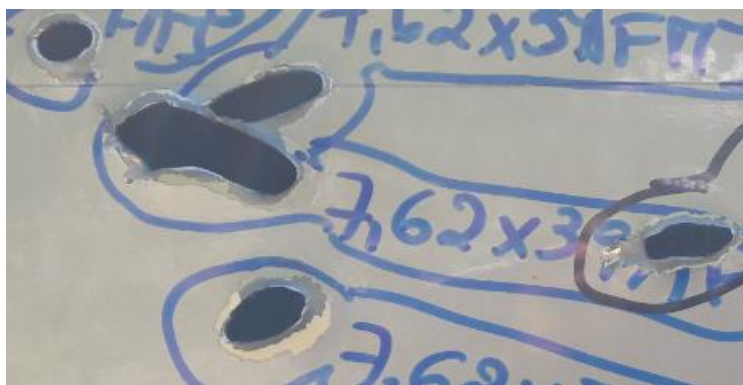


Figura 15 - Orifícios de saída provocados por projéteis disparados a 45°.

Fonte: Autor

Tabela 19 - Dimensão e formato dos orifícios.

Disparo	Arma	Munição	Distância	Ângulo de incidência	Orifício de entrada	Orifício de saída (La)	Orifício de saída (Co)	Formato
1	RPK-74	7,62x39mm FMJ	10 m	45°	8mm	9mm	29mm	Ogival
2	RPK-74	7,62x39mm AP	10 m	45°	9mm	14mm	39mm	Ogival
3	FN FAL	7,62x51mm FMJ	10 m	45°	9mm	10mm	20mm	Ogival
4	AR-15	5,56x45mm FMJ	10 m	45°	7mm	9mm	12mm	Ogival
5	FN P90	5,7x28mm AP	10 m	45°	6mm	6mm	18mm	Ogival
6	Glock 19	9x19mm FMJ	5 m	45°	11mm	Não perfurou	Não perfurou	-----
7	Revólver Dan Wesson	.38 Special	5 m	45°	17mm	Não perfurou	Não perfurou	-----
8	Revólver 32 Charter	.32 S&W	5 m	45°	18mm	Não perfurou	Não perfurou	-----
9	Walther PP	7,65x17mm FMJ	5 m	45°	10mm	Não perfurou	Não perfurou	-----

Fonte: Autor

3.2. Disparos realizados nos testes balísticos

Na Tabela 20 observam-se as dimensões dos orifícios provocados pelos projéteis, com um ângulo de incidência de 90°. As medidas dos orifícios de entrada dos primeiros dois projéteis da munição 7,62x51mm FMJ são inconclusivas porque os projéteis atingiram sensivelmente o mesmo local da porta do veículo. Pode-se observar que os orifícios de saída maiores são os originados pelos projéteis da munição 7,62x51mm FMJ. Os projéteis disparados pela pistola-metralhadora FN P90, da munição 5,7x28mm AP, são aqueles que provocaram orifícios de saída com um menor diâmetro.

Tabela 20 - Dimensão e formato dos orifícios.

Fonte: Autor

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	Orifício de entrada	Orifício de saída (La)	Orifício de saída (Co)	Formato
RPK-74	7,62x39mm FMJ	1	10 m	90°	7mm	8mm	19mm	Oval
		2	10 m	90°	8mm	16mm	17mm	Oval
		3	10 m	90°	7mm	8mm	8mm	Circular
		4	10 m	90°	7mm	Inconclusivo	Inconclusivo	Inconclusivo
RPK-74	7,62x39mm AP	1	10 m	90°	7mm	8mm	10mm	Oval
		2	10 m	90°	7mm	15mm	22mm	Oval
		3	10 m	90°	7mm	8mm	12mm	Oval
FN FAL	7,62x51mm FMJ	1	10 m	90°	Inconclusivo	13mm	36mm	Ogival
		2	10 m	90°	Inconclusivo	28mm	37mm	Oval
		3	10 m	90°	7mm	7mm	17mm	Ogival
AR-15	5,56x45mm FMJ	1	10 m	90°	5mm	5mm	5mm	Circular
		2	10m	90°	5mm	Inconclusivo	10mm	Oval
		3	10 m	90°	5mm	14mm	19mm	Oval
		4	10m	90°	5mm	14mm	16mm	Oval
FN P90	5,7x28mm AP	1	10 m	90°	5mm	6mm	8mm	Oval
		2	10 m	90°	5mm	6mm	9mm	Oval
		3	10 m	90°	5mm	7mm	15mm	Ogival
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	90°	8mm	Não perfurou	Não perfurou	-----
		2	5 m	90°	8mm	8mm	10mm	Oval
		3	5 m	90°	8mm	10mm	13mm	Oval
Walther PP	7,65x17mm FMJ	1	5 m	90°	7mm	Inconclusivo	Inconclusivo	Oval
		2	5 m	90°	7mm	8mm	8mm	Circular
		3	5 m	90°	7mm	7mm	9mm	Circular

Na Tabela 21 são apresentadas as medidas (largura e comprimento) médias dos orifícios de saída causados por cada tipo de projétil. O projétil que provocou orifícios de saída, em média, com maior largura, foi o da munição 7,62x51mm FMJ. Por outro lado, o que provocou orifícios de saída, em média, com menor largura, foi o da munição 5,7x28mm AP. Estes são também os projéteis com maior e com menor massa, respetivamente, 9,47g e 2,02g. No entanto, não são os que atingem maiores nem menores velocidades. Em relação ao comprimento, o projétil da munição 7,62x51mm FMJ volta a ser o que causou orifícios de largura maior. O que originou orifícios de saída com menor comprimento foi o da munição 7,65x17mm FMJ. Não obstante, o projétil da munição 5,7x28mm AP originou os orifícios com o segundo menor comprimento. O projétil da munição 9x19mm FMJ, apesar de ser aquele que atinge a segunda velocidade mais baixa dos projéteis utilizados, foi aquele que causou, em média, o segundo orifício de saída com maior comprimento. A partir da análise destes dados, é possível colocar a hipótese de que

a massa dos projéteis exerce uma maior influência na dimensão dos seus orifícios de saída do que a velocidade a que este atinge o alvo, ainda que não se consiga quantificar a influência de cada um destes fatores.

Tabela 21 - Largura e comprimento médios dos orifícios de saída.

Arma	Munição	Distância	Ângulo de incidência	Massa (g)	Velocidade (m/s)	Orifício de saída (La)	Orifício de saída (Co)
RPK-74	7,62x39mm FMJ	10 m	90°	7,87	688,49	10,7mm	14,7mm
RPK-74	7,62x39mm AP	10 m	90°	7,97	742,19	10,3mm	14,7mm
FN FAL	7,62x51mm FMJ	10 m	90°	9,47	827,03	16mm	30mm
AR-15	5,56x45mm FMJ	10 m	90°	3,54	954,98	11mm	12,5mm
FN P90	5,7x28mm AP	10 m	90°	2,02	709,26	6,3mm	10,7mm
Glock 19	9x19mm FMJ	5 m	90°	7,96	330,57	9mm	16,5mm
Walther PP	7,65x17mm FMJ	5 m	90°	4,60	282,19	7,5mm	8,5mm

Fonte: Autor



Figura 16 - Orifícios de entrada provocados por projéteis da munição 7,62x39mm AP.

Fonte: Autor



Figura 17 - Orifícios de saída provocados por projéteis das munições 7,62x39mm FMJ e 7,62x39mm AP.

Fonte: Autor



Figura 18 - Orifício de saída provocado por projétil da munição 7,62x51mm FMJ.

Fonte: Autor

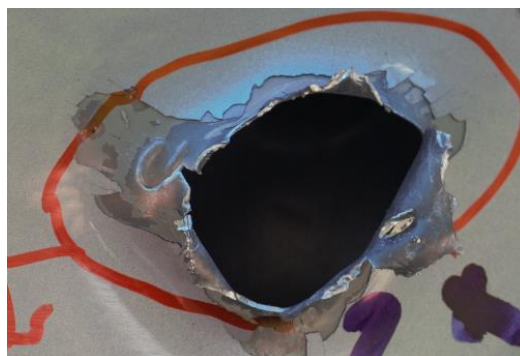


Figura 19 - Orifício de saída provocado por projétil da munição 7,62x51mm FMJ.

Fonte: Autor

Quanto à forma dos orifícios, importa evidenciar, na Figura 16, que os orifícios de entrada possuem a forma circular, com um diâmetro semelhante ao calibre dos projéteis que os originaram. Em relação aos orifícios de saída, constata-se pelas Figuras 17 a 19 que os modos de falha mais frequentes do metal da porta são o *plugging* e *petaling*.

A Tabela 22 contém as dimensões dos orifícios causados pelos projéteis 9mm FMJ, disparados a 45° e 60°. Tendo em conta que nenhum destes projéteis saiu do veículo, não existem medições realizadas aos seus orifícios de saída. Comparando as dimensões dos orifícios de entrada correspondentes ao ângulo de 45° com o ângulo de 60°, observa-se que são maiores os que correspondem ao ângulo de 45°. Daqui resulta que as dimensões do orifício de entrada aumentam consoante aumenta a obliquidade do disparo.

Tabela 22 - Dimensão dos orifícios provocados por projéteis 9mm FMJ.

Arma	Munição	Disparos	Distância	Ângulo	Orifício de entrada (mm)	Orifício de saída (La)	Orifício de saída (Co)
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	45°	14	Inconclusivo	Inconclusivo
		2	5 m	45°	14	Inconclusivo	Inconclusivo
		3	5 m	45°	14	Inconclusivo	Inconclusivo
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	60°	10	Inconclusivo	Inconclusivo
		2	5 m	60°	9	Inconclusivo	Inconclusivo
		3	5 m	60°	9	Inconclusivo	Inconclusivo

Fonte: Autor

4. BALÍSTICA DOS EFEITOS: VELOCIDADE E ROTAÇÃO DOS PROJÉTEIS APÓS ATRAVESSAMENTO DAS ESTRUTURAS DA VIATURA – DISPAROS REALIZADOS NOS TESTES BALÍSTICOS

A seguir serão apresentados os resultados verificados nos testes balísticos, através do estudo dos dados fornecidos pelas câmaras de alta velocidade. Estas câmaras permitiram capturar a trajetória e comportamento dos projéteis no interior da viatura e aquando da saída da segunda porta, bem como calcular a velocidade dos mesmos projéteis em cada momento.

4.1. Efeitos na estrutura da viatura

Na Tabela 23 pode visualizar-se os dados obtidos para todos os projéteis disparados a um ângulo de 90°. Para cada projétil disparado foi estudado o seu comportamento no interior da viatura: a velocidade a que o projétil se movimentava, ou seja, a velocidade restante do projétil depois de perfurar a primeira porta (“V. Porta 1”); os efeitos rotacionais (“E.R.”) do projétil no interior da viatura (“E.R. Porta 1”). Não foi possível a recolha de dados relativos a alguns dos projéteis, devido ao facto de as câmaras não os terem captado (“Não medido”). Noutros casos, devido a objetos presentes no interior da viatura ou ao facto de os projéteis se terem fragmentado, não foi possível visualizar o projétil durante o seu trajeto, o que impossibilitou a recolha de dados (“Inconclusivo”).



Figura 20 - Cambalhota do projétil da munição 7,62x39mm FMJ.

Fonte: Autor

No caso do quarto disparo com a munição 7,62x39mm FMJ e dos três disparos com a munição 7,62x39mm AP, a recolha de dados não foi possível devido ao facto de os projéteis terem atravessado o tecido branco que se encontrava a cobrir o tablier do veículo, para adicionar contraste. Relativamente aos efeitos rotacionais dos projéteis, existe uma clara predominância dos movimentos de oscilação e de “cambalhota”. Todavia, a perspetiva lateral que as câmaras oferecem poderá estar na origem deste facto, tornando mais difícil a deteção de um movimento de nutação ou precessão. Quando comparados os valores das velocidades presentes nesta Figura com a velocidade média

de cada tipologia de munição, acima apresentadas, (Tabelas 4 a 12) observa-se que a perda de velocidade dos projéteis, depois de penetrarem a primeira porta, não é significativa.

Tabela 23 - Velocidades e efeitos rotacionais dos projéteis à saída da primeira porta.

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	V. Porta 1	E.R. Porta 1
RPK-74	7,62x39mm FMJ	1	10 m	90°	Não Medido	Não Medido
		2	10 m	90°	641 m/s	Cambalhota
		3	10 m	90°	682 m/s	Nenhum
		4	10 m	90°	Inconclusivo	Inconclusivo
RPK-74	7,62x39mm AP	1	10 m	90°	Inconclusivo	Inconclusivo
		2	10 m	90°	Inconclusivo	Inconclusivo
		3	10 m	90°	Inconclusivo	Inconclusivo
FN FAL	7,62x51mm FMJ	1	10 m	90°	814 m/s	Nenhum
		2	10 m	90°	793 m/s	Nenhum
		3	10 m	90°	827 m/s	Nenhum
AR-15	5,56x45mm FMJ	1	10 m	90°	Não Medido	Não Medido
		2	10m	90°	942 m/s	Nenhum
		3	10 m	90°	896 m/s	Oscilação
		4	10m	90°	907 m/s	Nenhum
FN P90	5,7x28mm AP	1	10 m	90°	648 m/s	Nenhum
		2	10 m	90°	618 m/s	Nenhum
		3	10 m	90°	679 m/s	Oscilação
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	90°	319 m/s	Nenhum
		2	5 m	90°	288 m/s	Nenhum
		3	5 m	90°	296 m/s	Oscilação
Walther PP	7,65x17mm FMJ	1	5 m	90°	250 m/s	Nenhum
		2	5 m	90°	254 m/s	Nenhum
		3	5 m	90°	230 m/s	Nenhum

Fonte: Autor

Na Tabela 24 observa-se os dados obtidos a partir da análise do voo dos projéteis à saída da segunda porta. Relativamente ao primeiro disparo efetuado com a munição 7,62x51mm FMJ, constata-se uma descida abrupta da velocidade do projétil, quando esse valor é comparado com o obtido para o outro projétil da mesma munição. Através da visualização das imagens captadas, observa-se que o projétil abandona a segunda porta numa posição vertical, o que poderá explicar este acontecimento. Em relação ao segundo disparo efetuado com o mesmo tipo de munição, observa-se que este se desintegra à saída da segunda porta, pelo que não foi possível a recolha de mais dados sobre o mesmo.

Relativamente aos disparos com a munição 5,56x45mm FMJ, a recolha de dados sobre o projétil à saída da segunda porta foi impossibilitada devido à sua desintegração. O terceiro disparo, apesar de não ter sido perfeitamente captado pela câmara, também aparenta mostrar a desintegração do projétil. Não foi possível captar o primeiro disparo com a munição 5,7x28mm AP. Uma vez mais, os efeitos rotacionais dos projéteis predominantes são os de oscilação e “cambalhota”.

Tabela 24 - Velocidades e efeitos rotacionais dos projéteis à saída da segunda porta.

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	V. Porta 2	E.R. Porta 2
RPK-74	7,62x39mm FMJ	1	10 m	90°	Não Medido	Não Medido
		2	10 m	90°	520 m/s	Nenhum
		3	10 m	90°	662 m/s	Nenhum
		4	10 m	90°	632 m/s	Nenhum
RPK-74	7,62x39mm AP	1	10 m	90°	622 m/s	Oscilação
		2	10 m	90°	630 m/s	Nenhum
		3	10 m	90°	625 m/s	Cambalhota
FN FAL	7,62x51mm FMJ	1	10 m	90°	665 m/s	Cambalhota
		2	10 m	90°	Inconclusivo	Nenhum
		3	10 m	90°	718 m/s	Cambalhota
AR-15	5,56x45mm FMJ	1	10 m	90°	Não Medido	Não Medido
		2	10m	90°	Inconclusivo	Nenhum
		3	10 m	90°	Inconclusivo	Nenhum
		4	10m	90°	Inconclusivo	Nenhum
FN P90	5,7x28mm AP	1	10 m	90°	Inconclusivo	Nenhum
		2	10 m	90°	395 m/s	Cambalhota
		3	10 m	90°	442 m/s	Cambalhota
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	90°	Inconclusivo	Nenhum
		2	5 m	90°	267 m/s	Nenhum
		3	5 m	90°	268 m/s	Oscilação
Walther PP	7,65x17mm FMJ	1	5 m	90°	Inconclusivo	Nenhum
		2	5 m	90°	179 m/s	Nenhum
		3	5 m	90°	189 m/s	Oscilação

Fonte: Autor

Na Tabela 25 estão presentes os dados relativos aos disparos efetuados com a munição 9x19mm FMJ, com ângulos de disparo de 45° e 60°. Relativamente a estes disparos, apenas foi possível a obtenção de dados sobre a saída do projétil da primeira porta, uma vez que nenhum penetrou a segunda. Verifica-se que as velocidades

diminuíram bastante, quando comparadas com as obtidas nos disparos efetuados a 90°. Por sua vez, as velocidades mais baixas registradas respeitam aos disparos efetuados a 45°. Deste modo, pode-se concluir que quanto mais oblíquo foi o disparo, menos velocidade restante o projétil possuía. O primeiro disparo efetuado a 60° não foi registrado, uma vez que não foi captado pela câmara.

Tabela 25 - Velocidades e efeitos rotacionais dos projéteis 9mm FMJ à saída da primeira porta.

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	V. Porta 1	E.R. Porta 1
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	45°	81 m/s	Cambalhota
		2	5 m	45°	145 m/s	Precessão
		3	5 m	45°	157 m/s	Cambalhota
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	60°	Inconclusivo	Nenhum
		2	5 m	60°	201 m/s	Cambalhota
		3	5 m	60°	206 m/s	Oscilação

Fonte: Autor

4.2. Efeitos no para-brisas da viatura

Na Tabela 26 estão os dados relativos aos disparos efetuados contra o para-brisas do veículo. Foi feito o estudo de uma parte da trajetória dos projéteis antes de embaterem no para-brisas do veículo, e a velocidade a que estes seguiam nesse mesmo trajeto (“V. Pistola-Vidro”).

Tabela 26 - Velocidade dos projéteis 9mm FMJ antes de embaterem no para-brisas da viatura.

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	V. Pistola-Vidro
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	45°	340 m/s
		2	5 m	45°	322 m/s
		3	5 m	45°	329 m/s

Fonte: Autor

Na Tabela 27 estão presentes as medidas das velocidades a que os projéteis seguiam após atravessarem o para-brisas do veículo (“V. Vidro”), bem como os efeitos rotacionais do projétil no mesmo momento (“E.R. Vidro”). Comparando as velocidades presentes na Tabela 26 e na Tabela 27, constata-se que os projéteis sofreram, em média,

uma perda de velocidade de 26%. No que concerne ao segundo disparo efetuado, foi possível observar, nas imagens captadas pelas câmaras, que o projétil perde o seu encamisamento durante o voo.

Tabela 27 - Velocidade e efeitos rotacionais dos projéteis 9mm FMJ depois de penetrarem o para-brisas.

Arma	Munição	Disparos	Distância	Ângulo de incidência	V. Vidro	E.R. Vidro
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	45°	239 m/s	Cambalhota
		2	5 m	45°	250 m/s	Precessão
		3	5 m	45°	241 m/s	Precessão

Fonte: Autor

4.3. Perda de velocidade dos projéteis

4.3.1. Perda de velocidade nas portas

Para quantificar o efeito da estrutura da viatura na velocidade dos projéteis, foi calculada a percentagem de decréscimo de velocidade à saída de cada uma das portas, através da comparação entre as velocidades acima descritas e as velocidades médias de cada projétil; foi também calculado o decréscimo de velocidade aquando da passagem dos projéteis no para-brisas.

Na Tabela 28 apresentam-se as percentagens de decréscimo de velocidade sofridas pelos projéteis à saída da porta 1 (“D.V. Porta 1”) e da porta 2 (“D.V. Porta 2”), em disparos efetuados a 90°, tendo sempre como referência a velocidade média dos projéteis à saída do cano da arma, cujos valores são apresentados nas Tabelas 4 a 12 como “V₀”. A percentagem média de perda de velocidade dos projéteis após a passagem pela primeira porta foi 3,29% para as carabinas, 8,6% para a pistola-metralhadora e 11,13% para as pistolas semiautomáticas. Após a passagem da segunda porta, a percentagem média de perda de velocidade dos projéteis foi 14,55% para as carabinas, 41% para a pistola-metralhadora e 26,93% para as pistolas semiautomáticas.

Tabela 28 - Percentagem de decréscimo de velocidade dos projéteis (90°).

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	D.V. Porta 1	D.V. Porta 2
RPK-74	7,62x39mm FMJ	1	10 m	90°	-----	-----
		2	10 m	90°	7%	24,50%
		3	10 m	90°	1%	3,80%
		4	10 m	90°	-----	8,20%
RPK-74	7,62x39mm AP	1	10 m	90°	-----	16,20%
		2	10 m	90°	-----	15,10%
		3	10 m	90°	-----	15,80%
FN FAL	7,62x51mm FMJ	1	10 m	90°	1,60%	19,60%
		2	10 m	90°	4,10%	-----
		3	10 m	90°	0%	13,20%
AR-15	5,56x45mm FMJ	1	10 m	90°	-----	-----
		2	10m	90°	1,40%	-----
		3	10 m	90°	6,20%	-----
		4	10m	90°	5%	-----
FN P90	5,7x28mm AP	1	10 m	90°	8,60%	-----
		2	10 m	90°	12,90%	44,30%
		3	10 m	90°	4,30%	37,70%
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	90°	3,50%	-----
		2	5 m	90°	12,90%	19,20%
		3	5 m	90°	10,50%	18,90%
Walther PP	7,65x17mm FMJ	1	5 m	90°	11,40%	-----
		2	5 m	90°	10%	36,60%
		3	5 m	90°	18,50%	33%

Fonte: Autor

Na Tabela 29 estão apresentadas as percentagens de decréscimo de velocidade sofridas pelos projéteis disparados com ângulos de incidência de 45° e 60°, depois de perfurarem uma porta do veículo. Nos disparos efetuados a 45°, os projéteis da munição 9x19mm FMJ sofreram um decréscimo de velocidade médio de cerca de 61,37%. Os mesmos projéteis, nos disparos efetuados a 60°, sofreram um decréscimo de velocidade médio de cerca de 38,45%. Como seria expectável, o decréscimo de velocidade dos projéteis é maior para o ângulo de incidência menor, devido ao maior atrito causado pela superfície de contacto.

Tabela 29 - Percentagem de decréscimo de velocidade dos projéteis 9mm FMJ num disparo oblíquo.

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	D.V. Porta 1
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	45°	75,50%
		2	5 m	45°	56,10%
		3	5 m	45°	52,50%
Glock 19	9x19mm FMJ	1	5 m	60°	-----
		2	5 m	60°	39,20%
		3	5 m	60°	37,70%

Fonte: Autor

4.3.2. Perda de velocidade no para-brisas

Na Tabela 30 pode observar-se a percentagem de decréscimo de velocidade dos projéteis depois de atravessarem o para-brisas da viatura. Em média, os projéteis sofreram um decréscimo de cerca de 26.40%. Em comparação com os resultados presentes na Tabela 29, o vidro provocou um decréscimo de velocidade menor nos projéteis, como seria de esperar dada a menor resistência balística do vidro em questão, face ao metal das portas.

Tabela 30 - Percentagem de decréscimo de velocidade dos projéteis 9mm FMJ, disparados contra o para-brisas da viatura.

Arma	Munição	Disparo	Distância	Ângulo de incidência	D.V. Vidro
Glock 19	9x19 FMJ	1	5 m	90°	27,70%
		2	5 m	90°	24,40%
		3	5 m	90°	27,10%

Fonte: Autor

4.4. Alteração de trajetórias

No que concerne às alterações de direção de trajetória dos projéteis depois de atravessarem as portas da viatura, importa referir que estas foram ligeiras. Através do estudo dos orifícios de entrada e de saída e das imagens captadas pelas câmaras de alta velocidade, verificou-se, na maioria dos disparos efetuados, apenas uma ligeira subida ou descida na direção de trajetória do projétil. Contudo, estas alterações não foram significativas, pelo que se pode afirmar que as trajetórias dos projéteis foram, genericamente, lineares. Não obstante terem-se verificado efeitos de rotação dos projéteis

(ver Figura 21). No caso dos disparos efetuados contra o para-brisas da viatura, verifica-se sempre uma descida (deflexão) ligeira da trajetória de todos os projéteis. Não foi possível determinar o grau exato de deflexão sofrido pelos projéteis.

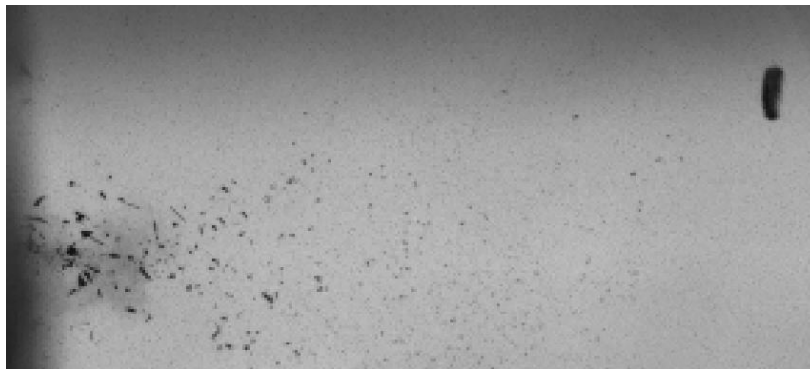


Figura 21 - Rotação do projétil da munição 5,7x28mm AP à saída da segunda porta.

Fonte: Autor

5. BALÍSTICA DOS EFEITOS: DEFORMAÇÃO, PERDA DE MASSA E FRAGMENTAÇÃO DOS PROJÉTEIS

Tal como referido anteriormente na descrição dos procedimentos adotados, foi possível recolher projéteis através de sacos de areia colocados na linha da trajetória esperada dos projéteis. Foram também recolhidos inúmeros fragmentos de projéteis que não puderam ser associados a qualquer tipo de projétil em particular.

Tabela 31 - Massa dos projéteis recolhidos.

Arma	Munição	Massa (g/gr)
RPK-74	7,62x39mm FMJ	7,88/121,6
RPK-74	7,62x39mm AP	3,59/55,4
		3,59/55,4
		3,57/55,1
		3,59/55,4
		7,20/111,1
FN FAL	7,62x51mm FMJ	Não recolhido
AR-15	5,56x45mm FMJ	Não recolhido
FN P90	5,7x28mm AP	1,97/30,4
		2/30,9
		1,99/30,7
Glock 19	9x19mm FMJ	6,58/101,5
		7,76/119,8
		6,79/104,8
		7,98/123,2
		7,26/112
		5,79/89,4
Walther PP	7,65x17mm FMJ	4,6/71
		4,61/71,1
		4,49/69,3

Fonte: Autor



Figura 22 - Projéteis recuperados, comparados com exemplares no seu estado original.

Fonte: Autor

Na Tabela 31 apresentam-se os valores da massa (em gramas, g, e *grains*, gr) dos projéteis que foi possível recolher. Os projéteis recolhidos em maior número foram os *Armor Piercing* e os disparados pelas pistolas. Isto era o expectável, uma vez que os projéteis *Armor Piercing* são bastante mais resistentes estruturalmente, que os restantes - por terem núcleo endurecido - e os projéteis disparados por pistolas atingirem velocidades muito menores, o que previne a ocorrência de deformações/fragmentações com mais frequência. Além disso, os projéteis da munição 9x19mm FMJ foram os mais disparados, pelo que não surpreende que sejam os recolhidos em maior número. Os dados da Tabela 31 devem ser comparados com os presentes na Tabela 2 (página 27) e na Figura 22, por forma a que seja possível compreender as perdas de massa sofridas pelos projéteis. O projétil recuperado da munição 7,62x39mm FMJ está praticamente intacto, não tendo sofrido qualquer perda de massa. É visível um pequeno achatamento na sua ponta, devido à perfuração das portas. Muito provavelmente, o seu estado deve-se ao facto de ter saído da segunda porta pelo orifício de saída de outro projétil, disparado anteriormente. Foram recuperados cinco projéteis da munição 7,62x39mm AP, sendo que quatro apresentam uma perda de massa significativa (cerca de 4,38 gramas) e outro uma perda de cerca de 0,77 gramas. Através da observação destes projéteis, foi possível constatar que quatro perderam a sua camisa e outras camadas de metal que o constituem no seu estado original, ficando agora exposto apenas o seu núcleo de aço. O quinto projétil recolhido manteve a o encamisamento, ainda que este esteja bastante deformado, especialmente na ponta do projétil, tendo perdido uma quantidade de massa residual. Não foram recolhidos quaisquer projéteis da munição 5,56x45mm FMJ, o que corrobora os resultados obtidos através da análise das imagens das câmaras de alta velocidade, onde se observa a sua fragmentação. Apesar de apenas um dos projéteis da munição 7,62x51mm FMJ ter fragmentado (Figura 23) não foi possível a recuperação de nenhum exemplar. Os três projéteis recolhidos da munição 5,7x28mm AP sofreram uma perda de massa mínima (cerca de 0,2 gramas), pelo que se pode concluir que tais projéteis possuem uma camada exterior de metal bastante duro, que previne a ocorrência de deformações e impede que o projétil se fragmente. Os projéteis da munição 9x19mm FMJ apresentam, no geral, perdas de massa muito reduzidas, sendo que a mais significativa foi de cerca de 2,17 gramas. Ainda que seja bastante difícil associar os projéteis recolhidos aos respetivos disparos, é bastante provável que o projétil 9mm que sofreu a maior perda de massa tenha sido disparado contra o para-brisas da viatura, onde foi possível observar a perda da sua camisa. Os projéteis das munições 7,65x17mm FMJ apresentam também perdas de massa

bastante reduzidas, sendo a mais significativa de cerca de 0,11 gramas. Como seria expectável, devido ao facto de os projéteis disparados por pistolas atingirem velocidades reduzidas, estes apresentam poucos danos e perdas de massa reduzidas. Por outro lado, os projéteis disparados por carabinas, uma vez que atingem velocidades elevadas, apresentam extensos danos e muitas fragmentações, especialmente nos projéteis das munições 7,62x51mm FMJ e 5,56x45mm FMJ.

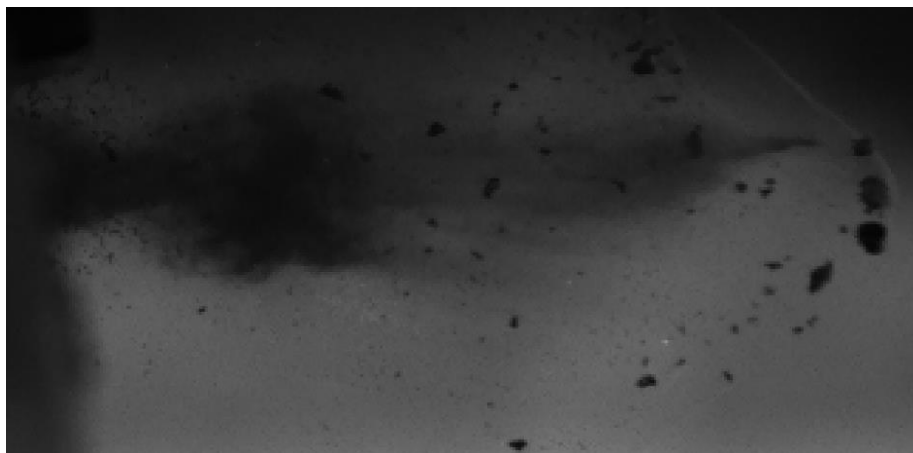


Figura 23 - Fragmentação de projétil da munição 7,62x51mm FMJ à saída da segunda porta.

Fonte: Autor

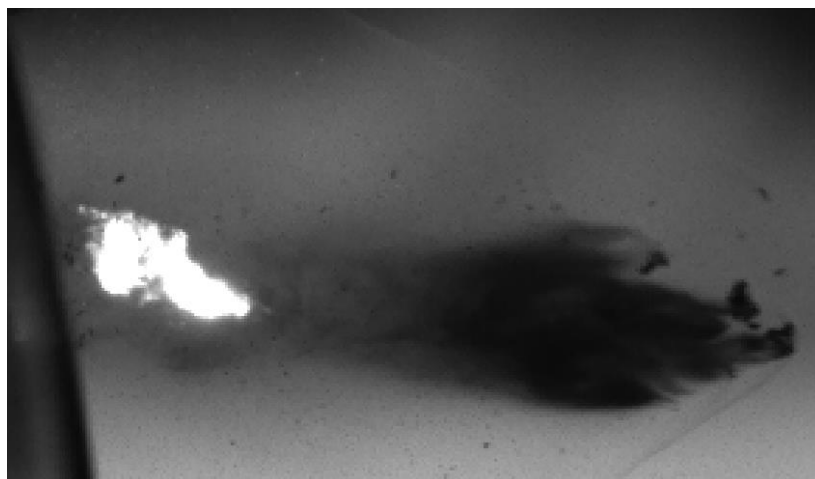


Figura 24 - Fragmentação de projétil da munição 5,56x45mm FMJ à saída da segunda porta.

Fonte: Autor

6. BALÍSTICA DOS EFEITOS: ENERGIA CINÉTICA RESTANTE

Através do estudo da massa dos projéteis recolhidos e das suas velocidades aquando da saída da segunda porta (“Vs”) do veículo (velocidade restante), foi possível

calcular a energia cinética restante (“Ecr”) aproximada de cada um dos projéteis recuperados. Foi usada a fórmula $E_c = 1/2mv^2$, que traduz que a energia cinética é igual a um meio vezes a massa vezes a velocidade ao quadrado.

Na Tabela 32 são apresentados os dados relativos à energia cinética restante aproximada de cada um dos projéteis recuperados. Uma vez que não foi possível associar cada um dos projéteis recolhidos ao respetivo disparo, estes valores foram obtidos através do cálculo, para cada tipo de projétil, da média das velocidades à saída da segunda porta, ou seja, a média das velocidades restantes dos projéteis. Os valores da energia cinética restante são condizentes com a profundidade a que foram recuperados os projéteis nos sacos de areia, o que evidencia o potencial para atingirem com eficácia outros obstáculos.

Tabela 32 - Energia cinética restante dos projéteis recuperados.

Arma	Munição	Massa (g/gr)	Vs (m/s)	Ecr (J)
RPK-74	7,62x39mm FMJ	7,88/121,6	604,7	1440,71
RPK-74	7,62x39 AP	3,59/55,4	625,7	702,74
		3,59/55,4		702,74
		3,57/55,1		698,83
		3,59/55,4		702,74
		7,20/111,1		1409,4
FN FAL	7,62x51 FMJ	Não recolhido	Não recolhido	Não recolhido
AR-15	5,56x45 FMJ	Não recolhido	Não recolhido	Não recolhido
FN P90	5,7x28 AP	1,97/30,4	418,5	172,52
		2/30,9		175,14
		1,99/30,7		174,27
Glock 19	9x19 FMJ	6,58/101,5	267,5	235,42
		7,76/119,8		277,64
		6,79/104,8		242,93
		7,98/123,2		285,51
		7,26/112		259,75
		5,79/89,4		207,16
Walther PP	7,65x17 FMJ	4,6/71	184	77,88
		4,61/71,1		78,04
		4,49/69,3		76

Fonte: Autor

VII. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Relativamente aos valores de referência sobre as velocidades atingidas pelos projéteis utilizados, obtidos através da utilização do aparelho de medição *Labradar*, verificou-se que tais velocidades se situam próximas dos valores demonstrados anteriormente por Coupland et al. (2011) (Anexo 1). Tal como verificado por estes autores, também as verificações no presente estudo situam as velocidades dos projéteis disparados por carabinas entre os 600 e os 1000 m/s, e os disparados por pistolas entre os 250 e os 400 m/s.

Anteriormente à realização deste estudo, esperava-se verificar que todos os projéteis utilizados penetravam/atravessavam ambas as portas da viatura, independentemente do ângulo de disparo, sendo que as suas trajetórias não iriam sofrer alterações significativas. Esperava-se também que os projéteis NATO teriam uma tendência maior para se fragmentarem que os projéteis análogos de Kalashnikov. Além disso, em relação aos disparos efetuados contra o para-brisas da viatura, era expectável que os projéteis deformassem de uma forma notória, ainda que fossem defletidos.

Relativamente à perfuração dos materiais, verificou-se que os projéteis disparados pelas carabinas e pela pistola-metralhadora perfuraram ambas as portas do veículo, quer num ângulo de incidência de 90° quer de 45°, ainda que apenas tenham sido realizados disparos a 45° com estas armas no pré-teste. No entanto, no que diz respeito às pistolas, apenas ocorreu a perfuração de ambas as portas num ângulo de incidência de 90° e, ainda assim, nem sempre isto se verificou; nos ângulos de incidência de 45° e 60° apenas a primeira porta foi perfurada, tanto no pré-teste como no teste propriamente dito.

As trajetórias dos projéteis foram sempre mais ou menos retilíneas, tanto à saída da primeira como da segunda porta, originando orifícios de entrada com um diâmetro ligeiramente inferior aos calibres dos projéteis (nos disparos a 90°) e orifícios de saída, na sua maioria, bastante maiores que o calibre dos projéteis. No caso dos disparos oblíquos, verificaram-se orifícios de entrada ligeiramente superiores ao calibre dos projéteis, como é normal acontecer. Estes resultados aparentam ir ao encontro das conclusões de Rodrigues, Faria, Santos e Fraga (2016), que também verificaram

trajetórias retilíneas e orifícios de saída significativamente maiores que o calibre dos projéteis. Em relação à deflexão sofrida pelos projéteis disparados através do para-brisas da viatura a um ângulo de incidência de 45°, ainda que tal deflexão não tenha sido quantificada, não se considera que a mesma tenha sido muito significativa, uma vez que não alterou a precisão do disparo, tendo originado apenas uma ligeira descida da trajetória do projétil. Este resultado coincide com as afirmações de Kunz et al. (2012).

As velocidades medidas à saída de ambas as portas indicam que os projéteis disparados por carabinas sofreram um decréscimo de velocidade de cerca de 3,29% à saída da primeira porta e 14,55% à saída da segunda. Por sua vez, os projéteis disparados pela pistola metralhadora sofreram um decréscimo de cerca de 8,6% à saída da primeira porta e 41% à saída da segunda. Os projéteis disparados por pistolas semiautomáticas sofreram um decréscimo de cerca de 11,13% à saída da primeira porta e de cerca de 26,93% à saída da segunda. Estes resultados dizem respeito aos disparos efetuados a um ângulo de incidência de 90°. Em contrapartida, em disparos oblíquos com um projétil de calibre 9mm, verificou-se um decréscimo de velocidade bastante mais acentuado à saída da primeira porta, sendo este cerca de 61,37%, num ângulo de incidência de 45°, e 38,45%, num ângulo de 60°. Confirma-se, assim, que à medida que a obliquidade do disparo aumenta, também o decréscimo de velocidade do projétil aumenta. Relativamente ao para-brisas da viatura, registou-se um decréscimo de velocidade de cerca de 26,40% num ângulo de incidência de 45°, decréscimo que pode ser classificado como considerável.

Quanto aos projéteis recuperados, confirmou-se uma maior tendência para a fragmentação dos projéteis NATO em comparação com os seus análogos da Kalashnikov, por se ter verificado a fragmentação de todos os projéteis da munição 5,56x45mm FMJ (não tendo sido nenhum recuperado) e pelo menos de um da munição 7,62x51mm FMJ. Quanto às munições 7,62x39mm FMJ e AP, não foi verificada a fragmentação de nenhum dos projéteis disparados. De um modo geral, os projéteis recolhidos apresentam uma perda de massa reduzida e deformações não significativas, apresentando apenas achatamentos ligeiros na zona dos projéteis que impactou com a porta da viatura. Contudo, os projéteis da munição 7,62x39mm AP são a exceção: dos cinco projéteis recolhidos, quatro apresentam uma perda de massa substancial, verificando-se que apenas restou o núcleo em aço destes projéteis.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo permite a conclusão geral de que os projéteis estudados, às distâncias e ângulos de incidência analisados, quando disparados contra a porta de um veículo, irão perfurar a sua estrutura e manter uma trajetória estável, e velocidade e energias cinéticas restantes suficientes para penetrarem e/ou atravessarem a segunda porta do veículo.

Mais concretamente, foi possível concluir o seguinte:

- Dos projéteis utilizados, todos os disparados por carabinas e pela pistola-metralhadora perfuram ambas as portas do veículo nos ângulos de incidência entre 90° e 45°.
- Dos projéteis utilizados, todos os disparados por pistolas semiautomáticas perfuram, na maioria das vezes, ambas as portas da viatura. Contudo, a ângulos de incidência entre 60° e 45°, apenas perfuram uma porta.
- Os projéteis da munição 9x19mm FMJ perfuram sempre o vidro do parabrisas da viatura a um ângulo de incidência de 45°.
- A um ângulo de incidência de 90°, a maior parte dos projéteis utilizados provocam um orifício de entrada com um diâmetro ligeiramente inferior ao seu calibre. Isto poderá indicar que o material que constitui as portas das viaturas é suficientemente dúctil para expandir temporariamente, aquando da perfuração do projétil, e de seguida retrair ligeiramente, sendo o resultado final um orifício menor do que o projétil que o originou.
- A esmagadora maioria dos orifícios de saída são bastante maiores que o calibre do projétil que os provocou, tanto nos disparos a 90° como a 45°. Contudo, a 90°, alguns orifícios são apenas ligeiramente maiores que o calibre do projétil que os provocou, nomeadamente naqueles em que a munição embateu na segunda porta numa posição frontal. A um ângulo de incidência de 45° é mais improvável que isto aconteça, facto corroborado pelos resultados, que indicam que todos os projéteis disparados a 45° que perfuraram a segunda porta, originaram orifícios de saída significativamente

maiores que o calibre do projétil que os provocou. Estes resultados dizem respeito aos disparos efetuados com as carabinas e com a pistola-metralhadora no pré-teste.

- O *plugging* e o *petaling* foram os mais frequentes modos de falha do material que constitui as portas da viatura.
- A massa dos projéteis constitui um fator com maior preponderância sobre a dimensão dos orifícios de saída do projétil do que a velocidade. Ou seja, quanto maior for a massa do projétil, maiores são as probabilidades de este originar um orifício de saída maior. Contudo, não foi possível quantificar a influência exata de cada um destes fatores.
- Os efeitos rotacionais mais frequentemente observados nos projéteis utilizados foram o de oscilação e “cambalhota”. Não obstante, a perspectiva lateral que as câmaras nos oferecem poderá ter contribuído para esta conclusão, uma vez que torna mais difícil a deteção de um movimento de nutação ou precessão.
- Dos projéteis utilizados, os disparados por carabinas a um ângulo de 90° sofrem um decréscimo de velocidade de cerca de 3,29% depois de perfurarem a primeira porta de uma viatura, e de cerca de 14,55% depois de perfurarem a segunda.
- Dos projéteis utilizados, os disparados pela pistola-metralhadora a um ângulo de 90° sofrem um decréscimo de velocidade de cerca de 8,6% depois de perfurarem a primeira porta de uma viatura, e de cerca de 41% depois de perfurarem a segunda.
- Dos projéteis utilizados, os disparados por pistolas, a um ângulo de 90°, sofrem um decréscimo de velocidade na ordem dos 11,13% depois de perfurarem a primeira porta, e de cerca de 26,93% depois de perfurarem a segunda porta.
- Num disparo efetuado a 45°, os projéteis da munição 9x19mm FMJ sofrem um decréscimo de velocidade médio de cerca de 61,37%. Os mesmos projéteis, num disparo efetuado a 60°, sofrem um decréscimo de velocidade médio de cerca de 38,45%. Deste modo, o aumento da obliquidade do disparo provoca um maior decréscimo da velocidade dos projéteis à saída da primeira porta da viatura.

- Os projéteis da munição 9x19mm FMJ sofrem um decréscimo de velocidade de cerca de 26,40% depois de perfurarem o para-brisas da viatura, a um ângulo de incidência de aproximadamente 45°.
- O vidro do para-brisas das viaturas provoca uma ligeira deflexão dos projéteis, cujo valor não foi possível quantificar.
- Depois de perfurarem as portas ou o para-brisas das viaturas, todos os projéteis utilizados mantêm uma trajetória mais ou menos retilínea.
- Existe uma maior tendência para a fragmentação dos projéteis NATO em comparação com os seus análogos de Kalashnikov, especialmente os de calibre 5,56mm.
- Dos projéteis utilizados, a maioria não sofre deformações e perdas de massa significativas. Tal não aconteceu com os projéteis da munição 7,62x39mm AP.

Considera-se que os resultados alcançados neste estudo corresponderam aos objetivos inicialmente traçados. No entanto, a presente investigação apresenta limitações, sobre as quais importa refletir por forma a facilitar o desenvolvimento de estudos futuros.

Por restrições monetárias, não foi possível obter o equipamento necessário para recolher os dados resultantes dos testes de uma forma mais eficaz. O ideal seria a obtenção de ponteiras laser, por exemplo, para verificar as alterações da trajetória dos projéteis de uma forma bastante mais precisa. Para a medição dos orifícios de entrada e de saída, foi utilizado um paquímetro de metal; no entanto, o mais indicado seria um paquímetro digital, permitindo uma leitura mais precisa. Relativamente aos projéteis recuperados, estes revelaram-se em número reduzido, tendo em conta o número de projéteis disparados. Esta falha poderia ser colmatada através da aquisição de gelatina balística, que permite uma recolha mais eficaz dos projéteis, sendo possível a associação concreta de cada projétil recuperado ao disparo que o originou. Para a utilização das câmaras de alta velocidade, foi necessário proceder-se a uma instalação minuciosa, que acabou por consumir muito do período temporal disponível para a realização dos testes. Por restrições de tempo, não foi possível realizar mais do que três disparos por cada tipo de projétil. Mais disparos aumentariam a certeza da conclusão. Não foi possível analisar em detalhe, no local, os orifícios de entrada e de saída dos projéteis, tendo existido a necessidade de transportar as portas do veículo para as instalações do ISCPsi, o que aumenta a dificuldade da leitura dos resultados, e a impossibilidade de medir os orifícios de entrada

presentes no para-brisas da viatura. Alguns dos disparos efetuados não foram captados na totalidade pelas câmaras de alta velocidade. Se tivesse sido possível dispor de mais tempo, teriam sido feitas alterações na disposição das câmaras, por forma a possibilitar a captação de todos os dados pretendidos. Finalmente, seria necessário também mais tempo para a análise de todos os dados recolhidos. Isto culminaria na análise isolada de cada um dos disparos efetuados, explorando os seus efeitos, velocidades, energia cinética e danos presentes no projétil recolhido.

Apesar destas limitações, este estudo de balística é um estudo pioneiro no ISCPSI, na PSP e, daquilo que se conhece, também o é em Portugal. Crê-se, por isso, terem sido criadas as condições de saber e experiência para se desenvolver outros estudos de balística terminal em parceria não apenas com as instituições que acompanharam este estudo – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Academia Militar -mas também com outras instituições, nomeadamente para estudos de proteção balística e de projéteis destinados à atividade policial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Backman, M. E. (1976). *Terminal ballistics*. Naval Weapons Center China Lake CA.
- Backman, M. E., & Goldsmith, W. (1978). The mechanics of penetration of projectiles into targets. *International Journal of Engineering Science*, 16(1), 1–99.
- Bless, S. J., Chen, T., & Russell, R. (2007). Impact on glass laminates. In *23rd international symposium on ballistics, Tarragona, April* (pp. 18-20).
- Borvik, T., Hopperstad, O. S., Berstad, T., & Langseth, M. (2002). Perforation of 12 mm thick steel plates by 20 mm diameter projectiles with flat, hemispherical and conical noses Part II: numerical simulations. *International Journal of Impact Engineering*, 27(1), 37–64.
- Borvik, T., Dey, S., & Clausen, A. H. (2009). Perforation resistance of five different high-strength steel plates subjected to small-arms projectiles. *International Journal of Impact Engineering*, 36(7), 948–964.
- Borvik, T., Olovsson, L., Dey, S., & Langseth, M. (2011). Normal and oblique impact of small arms bullets on AA6082-T4 aluminium protective plates. *International Journal of Impact Engineering*, 38(7), 577–589.
- Calder, C. A., & Goldsmith, W. (1971). Plastic deformation and perforation of thin plates resulting from projectile impact. *International Journal of Solids and Structures*, 7(7), 863-881.
- Carlucci, D., & Jacobson, S. (2008). *Theory and design of guns and ammunition*. CRC Press.
- Coupland, R., Rothschild, M., & Thali, M. (2011). *Wound ballistics: basics and applications*. (Beat Kneubuehl, Ed.). Springer Science & Business Media.
- De Kinder, J., Lory, S., Van Laere, W., & Demuynck, E. (2002). The deviation of bullets passing through window panes. *Forensic Science International*, 125(1), 8–11.
- Dey, S., Borvik, T., Hopperstad, O. S., Leinum, J. R., & Langseth, M. (2004). The effect of target strength on the perforation of steel plates using three different projectile nose shapes. *International Journal of Impact Engineering*, 30, 1005–1038.
- Dey, S., Borvik, T., Teng, X., Wierzbicki, T., & Hopperstad, O. S. (2007). On the ballistic resistance of double-layered steel plates: An experimental and numerical investigation. *International Journal of Solids and Structures*, 44, 6701–6723.
- Dimaio, V. J. M. (1999). *Gunshot Wounds Practical Aspects of firearms, Ballistics, and Forensic Techniques* (2th ed.). CRC Press.
- Fogleman, M., Craigie, J., & Stobbe, T. (2005). An investigation of the effectiveness of police cruiser doors as protection from handgun attack. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 11(4), 451–456.

- Haag, M. G., & Haag, L. C. (2011). *Shooting incident reconstruction*. Academic press.
- Harper, W. W. (1939). The behavior of bullets fired through glass. *Journal of Criminal Law and Criminology (1931-1951)*, 29(5), 718–723.
- Heard, B. J. (2008). *Handbook of Firearms and Ballistics* (2th ed.). John Wiley & Sons.
- Hovorun, T. P., Berladir, K. V., Pererva, V. I., Rudenko, S. G., & Martynov, A. I. (2017). Modern materials for automotive industry. *Journal of Engineering Sciences*, 4(2).
- Jankowiak, T., Rusinek, A., Kpenyigba, K. M., & Pesci, R. (2013). Ballistic behavior of steel sheet subjected to impact and perforation. *Steel and Composite Structures*, 16(6), 595-609.
- Jones, N., & Paik, J. K. (2013). Impact perforation of steel plates. *Ships and Offshore Structures*, 8(5), 579–596.
- Khan, W. U., Ansari, R., & Gupta, N. K. (2003). Oblique impact of projectile on thin aluminium plates. *Defence Science Journal*, 53(2), 139-146.
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of behavioral research* (4th ed.). TX: Harcourt
- Kunz, S. N., Zinka, B. M., Fieseler, S., Graw, M., & Peschel, O. (2012). Laminated safety glass as an intermediate target: a wound ballistic study. *Journal of Forensic Sciences*, 57(5), 1241–1246.
- Malhotra, N.K. (2002). *Pesquisa de Marketing: Uma orientação aplicada* (3th ed.). Porto Alegre: Bookman
- Nennstiel, R. (1999). Prediction of the remaining velocity of some handgun bullets perforating thin metal sheets. *Forensic Science International*, 102(2–3), 121–132.
- Orłowicz, A. W., Mróz, M., Tupaj, M., & Trytek, A. (2015). Materials used in the automotive industry. *Archives of Foundry Engineering*, 15(2), 75–78.
- Rinker, R.A. (2001). *Understanding Firearm Ballistics: Basic to Advanced Ballistics. Simplified, Illustrated & Explained* (4th ed.). Apache Junction: Mulberry Hpuse Publishing.
- Rodrigues, E., Faria, P., Santos, A., & Fraga, S. (2016). Deaths resulting from the use of firearms by police against motor vehicles: Study of cases in Porto, Portugal. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 39, 1–9.
- Rodríguez-Millán, M., Vaz-Romero, A., Rusinek, A., Rodríguez-Martínez, J. A., & Arias, A. (2013). Experimental study on the perforation process of 5754-H111 and 6082-T6 aluminium plates subjected to normal impact by conical, hemispherical and blunt projectiles. *Experimental Mechanics*, 54(5), 729-742.
- Rosenberg, Z., & Dekel, E. (2016). *Terminal Ballistics*. Springer.
- Santos, R. (2011). M211 - Elementos de Armamento, Manual do Aluno. Lisboa: Academia Militar.
- Sarmiento, M. (2013). *Guia Prático sobre a Metodologia Científica para a Elaboração, Escrita e Apresentação de Teses de Doutoramento, Dissertações de Mestrado e Trabalhos de Investigação Aplicada* (3th ed.). Lisboa: Universidade Lusíada

Editora.

- Senthil, K., & Iqbal, M. A. (2013). Effect of projectile diameter on ballistic resistance and failure mechanism of single and layered aluminum plates. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 67–68, 53–64.
- Thornton, J. I., & Cashman, P. J. (1986). The effect of tempered glass on bullet trajectory. *Journal of Forensic Science*, 31(2), 743–746.
- Vermeij, E., Rijnders, M., Pieper, P., & Hermsen, R. (2012). Interaction of bullets with intermediate targets: Material transfer and damage. *Forensic Science International*, 223(1–3), 125–135.
- Wilgus, G., White, J. B., & Berry, J. (2013). An Investigation of the Effects of Laminated Glass on Bullet Deflection. *Journal of Forensic Identification*, 63(3), 226.
- Zaid, A. I. O., El-Kalay, A., Travis, F.W. (1973). An Examination of the Perforation of a Mild Steel Plate by a Flat-Ended Cylindrical Projectile. *International Journal of Mechanical Sciences*, 15, 129–148.

ANEXOS

Anexo I

Velocidades Típicas dos Projéteis

TABELA 1 – VELOCIDADES TÍPICAS DOS PROJÉTEIS

Table 2-1. Typical velocities

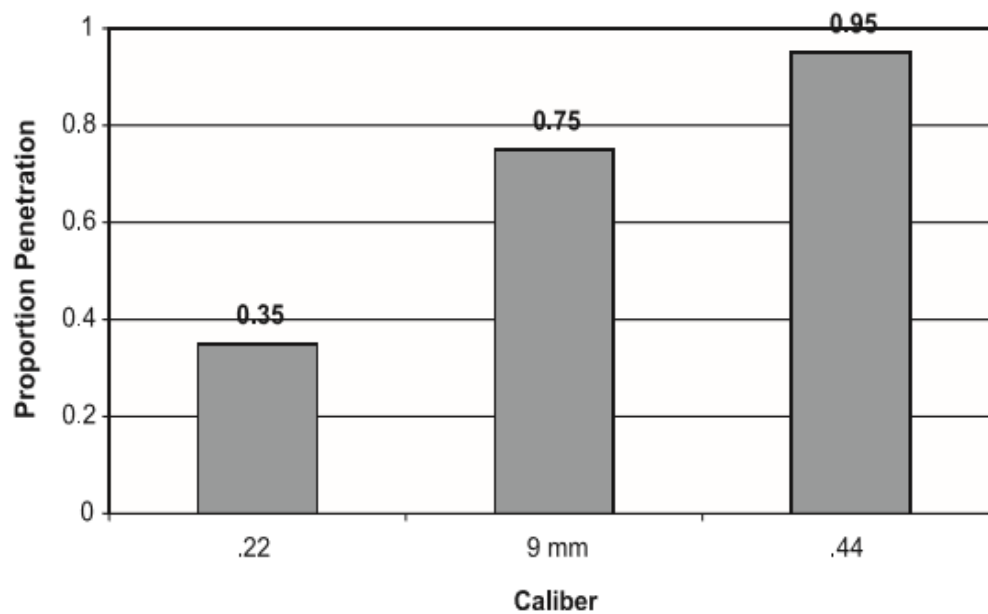
Object/medium		Velocity	
		[m/s]	[ft/s]
Projectile	Air rifle/air pistol	100 ... 250	330 ... 820
	Handguns	250 ... 400	820 ... 1,310
	Rifles	600 ... 1,000	1,970 ... 3,280
	Flechette	1,500 ... 1,800	4,920 ... 5,900
	Fragment	< 2,000	< 6560
Sound waves	In air (15 °C)	340	1,115
	In water (20 °C)	1,483	4,865
	In steel	5,180	16,995
	In glass	5,225	17,142

Fonte: Coupland et al. (2011, p. 5)

Anexo II

Comparação entre os calibres e a proporção de penetração

GRÁFICO 1 – COMPARAÇÃO ENTRE OS CALIBRES E A PROPORÇÃO DE PENETRAÇÃO

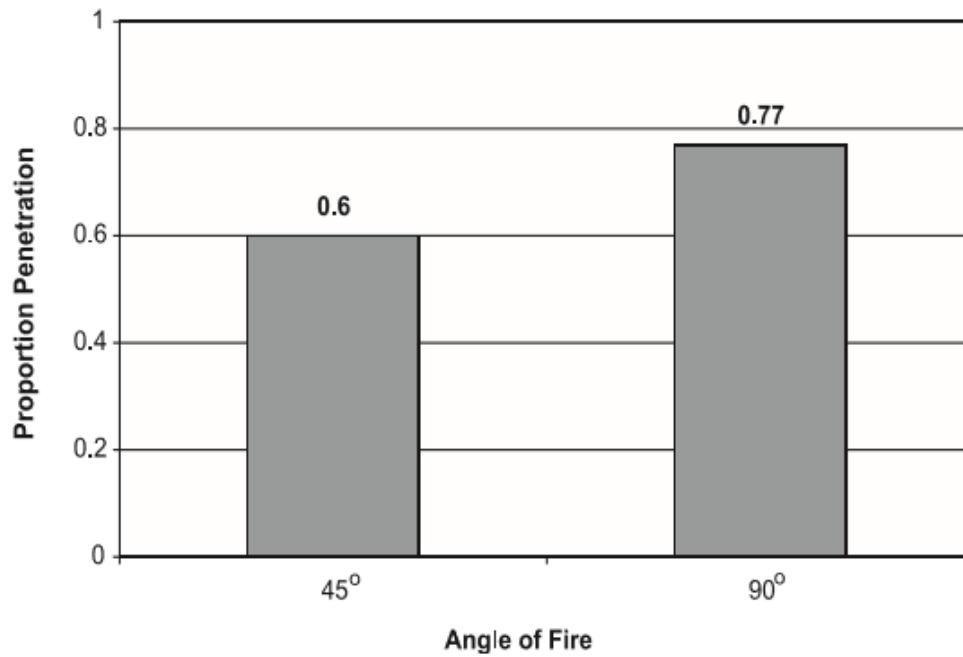


Fonte: Fogleman et al. (2005, p. 453)

Anexo III

Comparação entre o ângulo de disparo e a proporção de penetração

GRÁFICO 2 – COMPARAÇÃO ENTRE OS ÂNGULO DE INCIDÊNCIA E A PENETRAÇÃO DOS PROJÉTEIS



Fonte: Fogleman et al. (2005, p. 454)